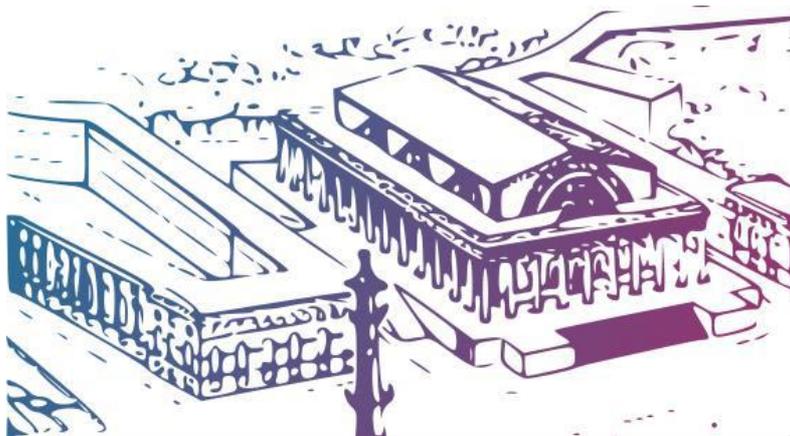


**ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**



# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ О ПОЛИМЕРАХ**

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

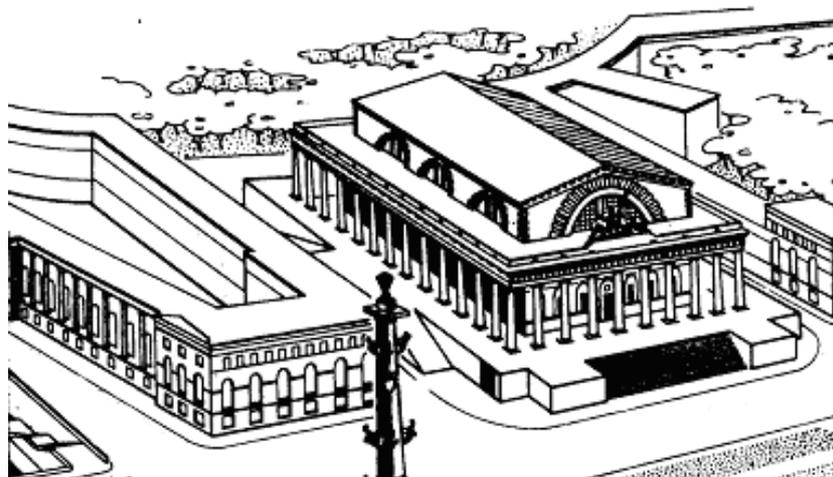
**24-27 октября 2022 г.,  
Санкт-Петербург, ИВС РАН**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ

ИНСТИТУТ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ О ПОЛИМЕРАХ



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

**24-27 октября 2022 г.,  
Санкт-Петербург**

## Организаторы

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И  
НАУК О МАТЕРИАЛАХ**



**ИНСТИТУТ  
ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК**



**СЕРВИС-АГЕНТ КОНФЕРЕНЦИИ**



## **Организационный комитет**

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

### **Программный и научный комитет**

А.В. Якиманский  
С.В. Бронников  
С.В. Люлин  
А.П. Филиппов  
О.В. Борисов  
И.В. Иванов  
Д.М. Ильгач  
М.А. Симонова  
А.Л. Николаева  
М.А. Степанова  
Д.А. Толмачёв  
М.А. Смирнов

### **Локальный комитет**

А.Н. Блохин  
М.С. Борисенко  
Н.И. Борздун  
Е.Н. Быкова  
В.К. Воробьев  
И.В. Волгин  
А.А. Гостева  
А.Ю. Добровский  
О.А. Доммес  
Е.Н. Дубров  
К.И. Каскевич  
Т.Ю. Кирилэ  
И.В. Кунцман  
С.Д. Мельникова  
С.В. Родченко  
А.В. Смирнова

## РАСПИСАНИЕ

<b>Понедельник, 24 октября</b>		
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 – 13:00	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>	<i>Секция 5. Теория и компьютерное моделирование</i>
13:00 – 14:00	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:00	<i>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</i>	<i>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>
16:00 – 16:30	<b>Кофе-брейк</b>	
16:30 – 18:00	<b>Стендовая сессия (Секции 3 и 6)</b>	
18:00 – 20:00	<b>WELCOME PARTY (Кафе «Молекула»)</b>	

<b>Вторник, 25 октября</b>		
9:30 – 11:00	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров</i>	<i>Секция 6. Применение полимерных материалов</i>
11:00 – 11:30	<b>Кофе-брейк</b>	
11:30 – 13:00	<b>Пленарные доклады</b>	
13:00 – 14:00	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:00	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>	<i>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>
16:00 – 16:30	<b>Кофе-брейк</b>	
16:30 – 18:00	<b>Стендовая сессия (Секции 1 и 5)</b>	

<b>Среда, 26 ноября</b>		
9:30 – 11:00	<i>Секция 6. Применение полимерных материалов</i>	<i>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</i>
11:00 – 11:30	<b>Кофе-брейк</b>	
11:30 – 13:00	<b>Пленарные доклады</b>	
13:00 – 14:00	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:00	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>	<i>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</i>
16:00 – 16:30	<b>Кофе-брейк</b>	
16:30 – 18:00	<b>Стендовая сессия (Секции 2 и 4)</b>	

<b>Четверг, 27 ноября</b>		
9:30 – 11:00	<i>Школа «Полиэлектролитные наноструктуры»</i>	<i>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</i>
11:00 – 11:30	<b>Кофе-брейк</b>	
11:30 – 13:00	<i>Школа «Полиэлектролитные наноструктуры»</i>	
13:00 – 14:00	<b>Перерыв на обед</b>	
14:30 – 16:00	<i>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров</i>	<i>Секция 5. Теория и компьютерное моделирование</i>
16:00 – 16:30	<b>Кофе-брейк</b>	
16:30 – 16:45	<b>Заккрытие конференции</b>	

# НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

<b>Понедельник, 24 октября</b>		
<b>Пленарные доклады</b> Председатель: А.В. Якиманский		<b>Конференц-зал ИВС РАН</b>
9-30 – 10-15	<u>Хаширова С.Ю.</u> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЫ	<b>PL-01</b>
10-15 – 11-00	<u>Костюк С.В.</u> МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН (СО)ПОЛИМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛИРУЕМОЙ КАТИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ	<b>PL-02</b>
<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>		
Председатель: С.В. Костюк		<b>Конференц-зал</b>
11-30 – 11-40	<u>Козина Н.Д.</u> , Блохин А.Н. СИНТЕЗ НОВЫХ МИКТОЛУЧЕВЫХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИОКСАЗОЛИНОВ	<b>1-O-01</b>
11-40 – 11-50	<u>Князева Н.А.</u> , Буторин А.В., Гришин И.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКОНТРОЛИРУЕМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТАКРИЛАТОВ В ПРИСУТСТВИИ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОТИАЗИНА В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ	<b>1-O-02</b>
11-50 – 12-00	<u>Солдатова А.Е.</u> , Цегельская А.Ю., Абрамов И.Г., Шахнес А.Х., Серушкина О.В., Херберг А., Кузнецов А.А. ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕХАНИЗМА ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ ПО СХЕМЕ $B_n+AB$	<b>1-O-03</b>
12-00 – 12-10	<u>Меденцева Е.И.</u> , Хрычикова А.П., Бермешева Е.В., Топчий М.А., Асаченко А.Ф., Бермешев М.В. ОДНОКОМПОНЕНТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НОРБОРНЕНОВ НА ОСНОВЕ КАТИОННЫХ (ННС)Рd КОМПЛЕКСОВ С АЛЛИЛЬНЫМИ ЛИГАНДАМИ	<b>1-O-04</b>
12-10 – 12-20	<u>Авдеев М.М.</u> , Горшкова Ю.Е., Маслаков К.И., Дворяк С.В., Шibaев А.В., Филиппова О.Е. СИНТЕЗ НАНОСЛОЕВ ПОЛИАКРИЛАМИДА НА ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНОГО ГРАФТИНГА	<b>1-O-05</b>
12-20 – 12-30	<u>Григорьева А.О.</u> , Зайцев С.Д. КОНТРОЛИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ФТОР(МЕТ)АКРИЛАТОВ	<b>1-O-06</b>
12-30 – 12-40	<u>Богдан Н.С.</u> , Шиман Д.И., Костюк С.В., Гапоник Л.В. АКТИВИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ВОДЫ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ КАТИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ИЗОБУТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСОВ ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III)	<b>1-O-07</b>
12-40 – 12-50	<u>Гусева М.А.</u> , Алентьев Д.А., Бермешев М.В., Бермешева Е.В. ОДНОСТАДИЙНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЙЗАМЕЩЕННЫХ НОРБОРНЕНОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЫСОКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН	<b>1-O-08</b>

<b>Секция 5. Теория и компьютерное моделирование</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: С.В. Ларин		
11-30 – 11-40	<u>Иванова А.С.</u> , Полоцкий А.А. АДСОРБЦИЯ СЛУЧАЙНОГО СОПОЛИМЕРА НА НЕОДНОРОДНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ: МОДЕЛЬ ЧАСТИЧНО НАПРАВЛЕННЫХ БЛУЖДАНИЙ НА ДВУМЕРНОЙ РЕШЕТКЕ	<b>5-0-01</b>
11-40 – 11-50	<u>Литвин К.А.</u> , Курбатов А.О., Крамаренко Е.Ю. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕРАЦИЙ И СТРОЕНИЯ В ПЛОСКИХ ЩЕЛЯХ	<b>5-0-02</b>
11-50 – 12-00	<u>Добровский А.Ю.</u> , Назарычев В.М., Волгин И.В., Люлин С.В. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ ПОЛИЭФИРИМИДА ВРДА-РЗ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА	<b>5-0-03</b>
12-00 – 12-10	<u>Фролкина М.А.</u> , Петровский В.С., Маркина А.А. БИСТАБИЛЬНАЯ ДИНАМИКА ДУФФИНГА В ОЛИГОМЕРАХ ПИРИДИН-ФУРАНА	<b>5-0-04</b>
12-10 – 12-20	<u>Курбатов А.О.</u> , Гордиевская Ю.Д., Крамаренко Е.Ю. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ ГРАФТ-СОПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ	<b>5-0-05</b>
12-20 – 12-30	<u>Михайлов И.В.</u> , Даринский А.А. СТАБИЛЬНОСТЬ ДЕНДРОНИЗИРОВАННЫХ ЛИПОСОМ	<b>5-0-06</b>
12-30 – 12-40	<u>Мерзлякова Т.Ю.</u> , Гордиевская Ю.Д., Крамаренко Е.Ю. КОНФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОДИНОЧНОЙ ДИПОЛЬНОЙ ЦЕПИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ	<b>5-0-07</b>
12-40 – 12-50	<u>Славов Б.</u> , Половников К. ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОЛИМЕР СО СЛУЧАЙНЫМИ ПЕТЛЯМИ КАК МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ХРОМОСОМ	<b>5-0-08</b>
<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b>		
Председатель: С.Ю. Хаширова		<b>Конференц-зал</b>
14-30 – 14-40	<u>Бккар М.</u> , Олехнович Р.О., Успенская М.В. ПЕРОВСКИТ-ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	<b>3-0-01</b>
14-40 – 14-50	<u>Подзорова М.В.</u> , Тертышная Ю.В. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ПОЛИЛАКТИД-НАТУРАЛЬНЫЙ КАУЧУК ПОД ВЛИЯНИЕМ УФ- ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОДЫ	<b>3-0-02</b>
14-50 – 15-00	<u>Кунцман И.В.</u> , Николаева А.Л., Гофман И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН И НАНОТРУБОК НА ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМИДОВ	<b>3-0-03</b>
15-00 – 15-10	<u>Иванова О.А.</u> , Трофимчук Е.С. НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ SiO <sub>2</sub> , ДИСПЕРГИРОВАННОЙ В ПОРАХ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ	<b>3-0-04</b>
15-10 – 15-20	<u>Дубиненко Г.Е.</u> , Акимченко И.О., Бочаров В.С., Больбасов Е.Н., Твердохлебов С.И. КОМПОЗИЦИОННЫЕ СКАФФОЛДЫ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИЭФИРОВ И ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ КОСТНОЙ ТКАНИ	<b>3-0-05</b>
15-20 – 15-30	<u>Монина А.П.</u> , Апрятина К.В., Смирнова Л.А., Смирнова О.Н. БИОРАЗЛАГАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО КРАХМАЛА И ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА	<b>3-0-06</b>

15-30 – 15-40	<u>Исхаков А.Ф.</u> , Назарова В.Д., Спиридонова Р.Р. СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ДЕКСТРИНА, ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТА И ПОЛИЛАКТИДА	<b>3-О-07</b>
<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b> <span style="float: right;"><b>Кафе «Молекула»</b></span> Председатель: М.А. Степанова		
14-30 – 14-40	<u>Бокатый А.Н.</u> , Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А. СИСТЕМЫ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТАВКИ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОГО АГЕНТА ДЕКСАМЕТАЗОНА НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА	<b>4-О-01</b>
14-40 – 14-50	<u>Соломаха О.А.</u> , Степанова М.А., Гофман И.В., Рабчинский М.К., Рыжков С.А., Антонов Г.А., Червякова П.Д., Коржикова-Влах Е.Г. МОДИФИКАЦИЯ ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА ОЛИГОМЕРАМИ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-ε-КАПРОЛАКТОНА	<b>4-О-02</b>
14-50 – 15-00	<u>Осипенко А.А.</u> , Гаркушина И.С. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ НА МОРФОЛОГИЮ ИХ ПОВЕРХНОСТИ	<b>4-О-03</b>
15-00 – 15-10	<u>Чирятьева А.Е.</u> , Завражных Н.А., Юкина Г.Ю., Кривенцов А.В., Иванькова Е.М., Юдин В.Е. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИИМИДНЫХ ТКАНЕИНЖЕНЕРНЫХ СОСУДИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ	<b>4-О-04</b>
15-10 – 15-20	<u>Бабичева Т.С.</u> , Шиповская А.Б. ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МИКРОТРУБОК ХИТОЗАНА	<b>4-О-05</b>
15-20 – 15-30	<u>Юдин В.В.</u> , Ковылин Р.С., Егиазарян Т.А., Егорихина М.Н., Алейник Д.Я., Чесноков С.А. ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КАРКАСОВ ИЗ ПОЛИ-(ДИМЕТАКРИЛАТА ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ) И ПОЛИЛАКТИДА ДЛЯ БИОМЕДИЦИНЫ	<b>4-О-06</b>
15-30 – 15-40	<u>Хаптаханова П.А.</u> , Успенский С.А., Александров А.И. СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРА ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ-ε-ПОЛИЛИЗИНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	<b>4-О-07</b>
15-40 – 15-50	<u>Малафеев К.В.</u> , Москалюк О.А., Юдин В.Е., Завражных Н.А., Иванькова Е.М., Гордина Е.М., Божкова С.А. ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА С АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ	<b>4-О-08</b>
15-50 – 16-00	<u>Шуваева О.Д.</u> , Нестерова Н.А., Некрасова Т.Н., Фишер А.И., Панарин Е.Ф. ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ И ТЕРБИЯ С СОПОЛИМЕРАМИ 4-МЕТАКРИЛОИЛАМИДОБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ	<b>4-О-09</b>
16-00 – 16-10	<u>Шерстнева А.А.</u> , Северин А.В., Демина Т.С. ФОРМОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ЧАСТИЦ СО СТРУКТУРОЙ ЯДРО/ОБОЛОЧКА НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ БИОМЕДИЦИНЫ	<b>4-О-10</b>
16-30 – 18-30	<b>СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ</b> <b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b> <b>Секция 6. Применение полимерных материалов</b>	

## Вторник, 25 октября

<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: Т.Ю. Кирилэ		
09-30 – 09-40	<u>Базарова В.Е., Соколова Л.В.</u> ВЛИЯНИЕ НАНООРГАНИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ НА ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ	<b>2-О-01</b>
09-40 – 09-50	<u>Сазонов О.О., Каюмов М.Н., Давлетбаев Р.С., Панов Н.М., Давлетбаева И.М.</u> СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРРАЗВЕТВЛЕННЫХ АМИНОЭФИРОВ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В КАЧЕСТВЕ МЕМБРАНЫХ МАТЕРИАЛОВ	<b>2-О-02</b>
09-50 – 10-00	<u>Нохрин К.А., Сафронов А.П.</u> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГИДРОКСИЭТИЛ(МЕТ)АКРИЛАТА С АКРИЛАМИДОМ	<b>2-О-03</b>
10-00 – 10-10	<u>Абдурахманов М.Г., Собола Д.С., Рабаданов К.Ш., Оруджев Ф.Ф.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В НАНОВОЛОКНАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА МЕТОДОМ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ	<b>2-О-04</b>
10-10 – 10-20	<u>Гостева А.А., Окатова О.В., Гаврилова И.И., Добродумов А.В., Панарин Е.Ф., Павлов Г.М.</u> ГИДРОФОБНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АМФИФИЛЬНЫХ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ СОПОЛИМЕРАХ	<b>2-О-05</b>
10-20 – 10-30	<u>Жуков В.А., Ломовской В.А., Симонов-Емельянов И.Д.</u> МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЬ ПРОЦЕССА СЕГМЕНТАЛЬНОЙ ПОДВИЖНОСТИ В ПОЛИКАРБОНАТЕ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЛИКАРБОНАТ	<b>2-О-06</b>
10-30 – 10-40	<u>Ершова Т.О., Анисимов А.А., Темников М.Н., Щеголихина О.И., Музафаров А.М.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЛЕСТНИЧНЫХ ПОЛИФЕНИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВ	<b>2-О-07</b>
10-40 – 10-50	<u>Саломатина Е.В., Буланов Е.Н., Зайцев С.Д., Смирнова Л.А.</u> ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ПРИРОДЫ ПОЛИМЕРОЙ МАТРИЦЫ НА КОМПЛЕКС СВОЙСТВ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИ(ТИТАНОКСИД)	<b>2-О-08</b>
<b>Секция 6. Применение полимерных материалов</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: М.А. Смирнов		
09-30 – 09-40	<u>Воробьев В.К., Соколова М.П., Смирнов М.А.</u> ГИБКИЕ ДАТЧИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ	<b>6-О-01</b>
09-40 – 09-50	<u>Потапов О.А., Панфилова О.А.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГЕНЕРАТА ПРОИЗВОДСТВА ООО «БОНУС-КАМА» НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	<b>6-О-02</b>
09-50 – 10-00	<u>Мирошниченко Д.В., Шалыгин М.Г.</u> ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ПАРОВ МЕТАНОЛА В ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАНАХ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА	<b>6-О-03</b>
10-00 – 10-10	<u>Ильясов Л.О., Панова И.Г.</u> ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СШИВКИ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ИХ ВЛАГОУДЕРЖИВАЮЩИЕ И СВЯЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА В ПЕСЧАНОМ СУБСТРАТЕ	<b>6-О-04</b>
10-10 – 10-20	<u>Чернышева А.И., Карпова Е.А., Терентьева Д.А., Солдатов М.А., Есин А.С., Горлов М.В., Бредов Н.С., Поляков В.А.</u> СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЛИГОФОСФАЗЕНОВ	<b>6-О-05</b>

10-20 – 10-30	<u>Зоткин М.А.</u> , Алентьев Д.А., Возняк А.И., Борисов И.Л., Волков А.В., Гаврилова Н.Н., Бермешев М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИНОРБОРНЕНОВ С КАРБОЦИКЛИЧЕСКИМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ	<b>6-O-06</b>
10-30 – 10-40	<u>Сахарова Ю.А.</u> , Фатеев А.Д., Олехнович Р.О. ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ С ОРГАНИЧЕСКИМ УДОБРЕНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПОЧВ	<b>6-O-07</b>
10-40 – 10-50	<u>Щербаков А.Е.</u> КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИСОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	<b>6-O-08</b>
<b>Пленарные доклады</b> <span style="float: right;"><b>Конференц-зал</b></span>		
Председатель: А.А. Полоцкий		
11-30 – 12-15	<u>Бобровский А.Ю.</u> МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОХРОМНЫЕ ЖК ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИТЫ	<b>PL-03</b>
12-15 – 13-00	<u>Степаненко О.В.</u> ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ БИОМАРКЕРЫ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ И КЛЕТОЧНОЙ БИОЛОГИИ	<b>PL-04</b>
<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b> <span style="float: right;"><b>Конференц-зал</b></span>		
Председатель: А.Ю. Бобровский		
14-30 – 14-40	<u>Никифоров А.А.</u> , Матвиенко В.Д., Коржикова-Влах Е.Г., Степанова М.А. ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ D, L-ЛАКТИДА В ПРИСУТСТВИИ $\beta$ -ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦИНКА(II)	<b>1-O-09</b>
14-40 – 14-50	<u>Зиновьев А.В.</u> , Пискарев М.С., Гильман А.Б., Кузнецов А.А., Скрылева Е.А., Сенатулин Б.Р., Гатин А.К., Сырцова Д.А., Тепляков В.В. МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ: ХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТОЛЩИНА ОБРАБОТАННОГО СЛОЯ	<b>1-O-10</b>
14-50 – 15-00	<u>Возняк А.И.</u> , Бермешева Е.В., Ржевский С.А., Асаченко А.Ф., Бермешев М.В. МОДИФИКАЦИЯ АДДИТИВНОГО ПОЛИ(5-ВИНИЛ-2-НОРБОРНЕНА)	<b>1-O-11</b>
15-00 – 15-10	<u>Семенова Т.А.</u> , Емельянов А.И., Поздняков А.С. ГИДРОФИЛЬНЫЙ УЗКОДИСПЕРСНЫЙ ПОЛИ-1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛ КАК ОСНОВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОБАЛЬТОСОДЕРЖАЩИХ НАНОКОМПОЗИТОВ	<b>1-O-12</b>
15-10 – 15-20	<u>Аджиева О.А.</u> , Денисова Ю.И., Финько А.В., Кудрявцев Я.В. СИНТЕЗ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИЦИКЛООКТЕНА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ	<b>1-O-13</b>
15-20 – 15-30	<u>Веретенникова Е.А.</u> , Пестов А.В. СИНТЕЗ N-(1,2-ДИКАРБОКСИЭТИЛ)ХИТОЗАНА	<b>1-O-14</b>
15-30 – 15-40	<u>Белоусов Г.К.</u> , Вайтусёнок А.А., Костюк С.В. КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ КАРБАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ МОНОМЕРОВ СТИРОЛЬНОГО ТИПА	<b>1-O-15</b>
15-40 – 15-50	<u>Шоипова Ф.Х.</u> , Алыева А.Б., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф. ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АЛКОКСИАМИНОВ В ПРИСУТСТВИИ ДИНИТРОНОВ ГЛИОКСАЛЕВОГО РЯДА НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ИНИЦИИРУЮЩИХ СИСТЕМ	<b>1-O-16</b>

<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: <b>О.В. Степаненко</b>		
14-30 – 14-40	<u>Багаева И.О.</u> , Гандаллипов Э.Р., Сеницына Е.С., Тенникова Т.Б., Коржикова-Влах Е.Г. ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЦИТОСТАТИКОВ	<b>4-О-11</b>
14-40 – 14-50	<u>Чабина А.С.</u> , Нашекин А.В., Лихачев А.И., Курдюков Д.А., Просалов Н.Д., Нашекина Ю.А. МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ	<b>4-О-12</b>
14-50 – 15-00	<u>Оспенников А.С.</u> , Шibaев А.В., Филиппова О.Е. ДВОЙНЫЕ СЕТКИ, ОБРАЗОВАННЫЕ ГИБКИМ ПРИРОДНЫМ ПОЛИМЕРОМ И САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТКОЙ АНИЗОТРОПНЫХ НАНОЧАСТИЦ	<b>4-О-13</b>
15-00 – 15-10	<u>Шуклина Н.Н.</u> , Рябов С.А., Гушин А.В., Власова Е.А. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ С ДЕЙСТВУЮЩИМ ВЕЩЕСТВОМ ЦИНКА В КАЧЕСТВЕ ПОЛИМЕРОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	<b>4-О-14</b>
15-10 – 15-20	<u>Трушина Д.Б.</u> , Бурмистров И.А., Михеев А.В., Паллаева Т.Н. ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ОБОЛОЧЕК КОНТЕЙНЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА И МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ	<b>4-О-15</b>
15-20 – 15-30	<u>Шагдарова Б.Ц.</u> , Коновалова М.В., Луньков А.П., Жуйкова Ю.В., Ильина А.В., Варламов В.П., Свирщевская Е.В. ПОЛУЧЕНИЕ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОЛЛАГЕНА И ХИТОЗАНА, СШИТЫХ ДЖЕНИПИНОМ ДЛЯ РАНОЗАЖИВЛЕНИЯ	<b>4-О-16</b>
15-30 – 15-40	<u>Боровкова В.С.</u> , Маляр Ю.Н., Судакова И.Г., Чудина А.И. АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗ ОСИНЫ <i>POPULUS TREMULA</i> , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ	<b>4-О-17</b>
15-40 – 15-50	<u>Стрелова М.С.</u> , Пальшин В.А., Савин А.М. ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ И НАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ	<b>4-О-18</b>
15-50 – 16-00	<u>Леднева П. А.</u> , Беркович А. К. ВЛИЯНИЕ ШИРОКОДОСТУПНЫХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА	<b>4-О-19</b>
16-00 – 16-10	<u>Еременко И.В.</u> , Бондаренко Г.Н., Симонова Ю.А., Тимофеева Л.М. МОЛЕКУЛЯРНЫЙ МЕХАНИЗМ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОТОНИРОВАННЫХ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫХ ПОЛИМЕРОВ НА МИКОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КЛЕТКИ	<b>4-О-20</b>
16-30 – 18-30	<b>СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ</b> <b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b> <b>Секция 5. Теория и компьютерное моделирование</b>	

## Среда, 26 октября

<b>Секция 6. Применение полимерных материалов</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: М.П. Соколова		
09-30 – 09-40	<u>Просвирнина А.П.</u> , Бугров А.Н., Федотова В.С., Сивцов Е.В., Воробьев В.К., Николаева А.Л., Смирнов М.А. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ ИОННЫХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОВОЛОКОН БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СОДЕРЖАЩИХ НЕНАСЫЩЕННЫЕ ГРУППЫ	<b>6-0-09</b>
09-40 – 09-50	<u>Купинский Н.Г.</u> , Абушахманова З.Р., Пантюхов П.В., Масталыгина Е.Е., Овчинников В.А., Попов А.А. ПРОБЛЕМА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ. ПУТИ РЕШЕНИЯ	<b>6-0-10</b>
09-50 – 10-00	<u>Лямин В.П.</u> , Чепелева А.Д., Кузьмина А.И., Пенькова А.В., Дмитренко М.Е. РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕН ОКСИД-БЛОК-ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАН СОПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ГРАФЕНА	<b>6-0-11</b>
10-00 – 10-10	<u>Назаров И.В.</u> , Бермешева Е.В., Горлов И.В., Мишенина А.А., Соломатов И.А., Возняк А.И., Зарезин Д.П., Бермешев М.В. ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА	<b>6-0-12</b>
10-10 – 10-20	<u>Маркова С.Ю.</u> , Жмакин В.В., Шалыгин М.Г. ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ O <sub>2</sub> /Xe	<b>6-0-13</b>
10-20 – 10-30	<u>Титкина К.А.</u> , Ильясов Л.О., Панова И.Г. ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ И ХИТОЗАНА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ПОЧВЕННЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ	<b>6-0-14</b>
10-30 – 10-40	<u>Никольский Я.В.</u> , Фазылова Д.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИСИЛОКСАНОВ С ПОВЫШЕННОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ	<b>6-0-15</b>
10-40 – 10-50	<u>Воробьев А.О.</u> , Дубиненко Г.Е., Акимченко И.О., Большасов Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРОВОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ИМПЛАНТАНТОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM 3D ПЕЧАТИ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРА	<b>6-0-16</b>
10-50 – 11-00	<u>Фомичева И.И.</u> , Ломовской В.А. РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОТВЕРДИТЕЛЯХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПАУНДОВ	<b>6-0-17</b>
<b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: И.С. Гаркушина		
09-30 – 09-40	<u>Литвинов М.Ю.</u> , Подшивалов А.В. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОВОЛОКОН НА ОСНОВЕ (БИО)ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ХИТОЗАН-ЖЕЛАТИН, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СО-ЭЛЕКТРОПРЯДЕНИЯ IN SITU	<b>4-0-21</b>
09-40 – 09-50	<u>Джужа А.Ю.</u> , Катернюк Е.В., Коржикова-Влах Е.Г. АМФИФИЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ $\alpha$ -АМИНОКИСЛОТ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ПАКЛИТАКСЕЛА И миРНК	<b>4-0-22</b>
09-50 – 10-00	<u>Лаишевкина С.Г.</u> , Шевченко Н.Н., Томшик Е. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СУЛЬФОСОДЕРЖАЩИХ МАТРИЦ И ИХ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИ(3,4-ЭТИЛЕНДИОКСИТИОФЕНОМ)	<b>4-0-23</b>
10-00 – 10-10	<u>Константинова П.А.</u> , Тагандурдыева Н.А., Дресвянина Е.Н., Ваганов Г.В., Добровольская И.П., Юдин В.Е. ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗОРБИРУЕМЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ КОСТНОЙ ПЛАСТИКИ	<b>4-0-24</b>

10-10 – 10-20	<u>Попырина Т.Н.</u> , Демина Т.С., Акопова Т.А. АМФИФИЛЬНЫЕ АЛКИЛИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭМУЛЬСИЙ МАСЛО/ВОДА	4-O-25
10-20 – 10-30	<u>Махаева Д.Н.</u> , Ирмухаметова Г.С., Хуторянский В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ПОЛИ(2-ЭТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА), ПОЛИ(2-МЕТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА) И ПОЛИ(2-ПРОПИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА) С ЙОДОМ	4-O-26
10-30 – 10-40	<u>Ковылин Р.С.</u> , Журавлев В.И., Шишкин А.Ю., Смирнов В.Ф., Чесноков С.А. ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МОНОЛИТОВ ИЗ ДИМЕТАКРИЛАТА ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И ВИСМУТСОДЕРЖАЩИЕ БАКТЕРИЦИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ	4-O-27
10-40 – 10-50	<u>Гюбаева П.М.</u> , Ольхов А.А. СОЗДАНИЕ БИОСВМЕСТИМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛУКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ И МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК	4-O-28
10-50 – 11-00	<u>Горкуша Г.В.</u> , Панина Н.С., Рузанов Д.О., Литосов Г.Э., Назарова О.В., Панарин Е.Ф. ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ВАНАДИЯ С ВИНИЛФОСФОНОВЫМ СОПОЛИМЕРОМ	4-O-29
11-00 – 11-10	<u>Мастальгина Е.Е.</u> , Воронцов Н.В., Хайдаров Т.Б., Захарова О.В., Ольхов А.А., Бурмистров И.Н. СПОСОБЫ ПРИДАНИЯ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ БИОРАЗЛАГАЕМЫМ ПОЛИМЕРНЫМ МАТЕРИАЛАМ	4-O-30
<b>Пленарные доклады</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: С.В. Люлин		
11-30 – 12-15	<u>Исламова Р.М.</u> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИСИЛОКСАНЫ – НОВАЯ ЭРА В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ?	PL-05
12-15 – 13-00	<u>Волков А.В.</u> ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВОГО РАСПАДА ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ И ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН	PL-06
<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: Р.М. Исламова		
14-30 – 14-40	<u>Лудин Д.В.</u> , Илларионова Н.В., Бобрин Е.В., Зайцев С.Д., Федюшкин И.Л. СИСТЕМЫ ТРИБУТИЛБОРАН/П-ХИНОН В РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА: ОБРАТИМОЕ И НЕОБРАТИМОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ	1-O-17
14-40 – 14-50	<u>Соловьёва Я.В.</u> , Пузырев И.С., Пестов А.В., Власов И.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ МОНОМЕРОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С РАСКРЫТИЕМ ЦИКЛА ПУТЕМ ЭТЕРИФИКАЦИИ ХЛОРКИСЛОТ ГЛИКОЛЯМИ	1-O-18
14-50 – 15-00	<u>Гайсин А.И.</u> , Вахонина Т.А., Фазлеева Г.М., Калинин А.А., Шмелев А.Г., Исламова Л.Н., Фоминых О.Д., Мухтаров А.Ш., Хаматгалимов А.Р., Балакина М.Ю. СИНТЕЗ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ХРОМОФОРНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ В БОКОВОЙ ЦЕПИ	1-O-19
15-00 – 15-10	<u>Каскевич К.И.</u> , Ильгач Д.М., Симонова М.А., Литвинова Л.С., Якиманский А.В. ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЕТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЛУОРЕНА С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ, ИЗЛУЧАЮЩИЕ СИНИЙ И ЗЕЛЕНЬ СВЕТ	1-O-20
15-10 – 15-20	<u>Леньшина Н.А.</u> , Арсеньев М.В., Богданов А.В., Чесноков С.А. ФОТОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ФОТОИНИЦИИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ 1-ГЕКСАДЕЦИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИЗАТИНА, СОДЕРЖАЩИХ В ПОЛОЖЕНИИ 5 ЗАМЕСТИТЕЛИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ	1-O-21

15-20 – 15-30	<u>Минеева К.О.</u> УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ В ОПЦ-СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И СТИРОЛА	<b>1-0-22</b>
15-30 – 15-40	<u>Вайтусёнок А.А.</u> , Белоусов Г.К., Костюк С.В. ЧЕРЕДУЮЩИЕСЯ СОПОЛИМЕРЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ ТЕРМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ОТЛОЖЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЕЙ	<b>1-0-23</b>
15-40 – 15-50	<u>Дериков Я.И.</u> , Белоусов Д.Р., Безбородов В.С., Тальрозе Р.В. СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИВИНИЛКЕТОНОВ	<b>1-0-24</b>
<b>Секция 3. Полимерные композиционные материалы</b> Председатель: Г.В. Ваганов		<b>Кафе «Молекула»</b>
14-30 – 14-40	<u>Баленко Н.В.</u> , Шibaев В.П., Бобровский А.Ю. МЕХАНО-ОПТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ЭЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕР-ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ	<b>3-0-08</b>
14-40 – 14-50	<u>Фомин Е.О.</u> , Трофимчук Е.С. ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗГИБА ПОЛИЭТИЛЕН-КРЕМНЕЗЕМНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ	<b>3-0-09</b>
14-50 – 15-00	<u>Варьян И.А.</u> , Попов А.А. ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ С ДОБАВЛЕНИЕМ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА	<b>3-0-10</b>
15-00 – 15-10	<u>Лосев А.В.</u> , Соколова Л.В. СТРУКТУРА НАНООРГАНИЗАЦИИ ФТОРСОПОЛИМЕРОВ	<b>3-0-11</b>
15-10 – 15-20	<u>Яхина А.Р.</u> , Жорина Л.А., Роговина С.З., Иорданский А.Л. ГИДРОЛИТИЧЕСКИЕ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ АБСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	<b>3-0-12</b>
15-20 – 15-30	<u>Поляков И.В.</u> , Ваганов Г.В., Диденко А.Л., Попова Е.Н., Иванькова Е.М., Елоховский В.Ю., Юдин В.Е. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИИМИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМБИНИРОВАННОГО НАПОЛНЕНИЯ ДЛЯ FDM-ПЕЧАТИ	<b>3-0-13</b>
15-30 – 15-40	<u>Зиятдинова Р.М.</u> , Лещёва А.А., Князев А.А., Крупин А.С., Галяметдинов Ю.Г. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АНИЗОМЕТРИЧНЫХ В-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ, ДОПИРОВАННЫХ В МАТРИЦУ ПММА	<b>3-0-14</b>
15-40 – 15-50	<u>Абушахманова З.Р.</u> , Купинский Н.Г., Пантюхов П.В., Попов А.А. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ НА НАДМОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ПОЛИМЕРОВ	<b>3-0-15</b>
15-50 – 16-00	<u>Воронцов С.А.</u> , Андреев Н.В., Колесникова В.Г., Родионова В.В., Левада Е.В. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ДВУХМЕРНЫХ УМНЫХ КОМПОЗИТОВ С МАГНИТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ	<b>3-0-16</b>
16-00 – 16-10	<u>Анпилова А.Ю.</u> , Мастальгина Е.Е., Попов А.А. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ И ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	<b>3-0-17</b>
16-10 – 16-20	<u>Пантюхов П.В.</u> , Овчинников В.А., Подзорова М.В., Абушахманова З.Р. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ ВТОРИЧНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ СЕПАРАТОРОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА	<b>3-0-18</b>
16-30 – 18-30	<b>СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ</b> <b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров</b> <b>Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения</b>	

## Четверг, 27 октября

<b>Школа «Полиэлектrolитные наноструктуры»</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: <b>О.В. Борисов</b>		
09-30 – 10-15	<u>Якиманский А.В.</u> НАНОКОНТЕЙНЕРЫ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК С ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫМИ БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ	<b>PL-07</b>
10-15 – 11-00	<u>Пергушов Д.В.</u> СТИМУЛЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОГЕЛИ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФЕРМЕНТНЫХ БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ	<b>PL-08</b>
<b>Секция 1. Синтез и модификация полимеров</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: <b>М.Л. Левит</b>		
09-30 – 09-40	<u>Закиров И.Н.</u> , Сазонов О.О., Килькинова В.А., Мухамадиев И.М., Давлетбаева И.М. ЭТЕРИФИКАЦИЯ ОРТО-ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ В СИНТЕЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИОНОМЕРОВ	<b>1-O-25</b>
09-40 – 09-50	<u>Миняйло Е.О.</u> , Темников М.Н., Анисимов А.А., Щеголихина О.И., Музафаров А.М. НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА УЗКОДИСПЕРСНЫХ ТЕЛЕХЕЛЕВЫХ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ В СРЕДЕ АММИАКА	<b>1-O-26</b>
09-50 – 10-00	<u>Ишмухаметова А.Ф.</u> , Шекаева А.Р., Спиридонова Р.Р., Федорчук А.Н. ПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ЛАКТИДА	<b>1-O-27</b>
10-00 – 10-10	<u>Карпов Г.О.</u> , Бермешев М.В. КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ ПАЛЛАДИЯ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НОРБОРНЕНА	<b>1-O-28</b>
10-10 – 10-20	<u>Садырина А.А.</u> , Ишмухаметова А.Ф., Спиридонова Р.Р. ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИЛАКТИДА	<b>1-O-29</b>
10-20 – 10-30	<u>Сокольников Е.В.</u> , Вайтусёнок А.А., Фетин П.А., Костюк С.В. СИНТЕЗ И РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ	<b>1-O-30</b>
10-30 – 10-40	<u>Сидорова М.И.</u> , Давлетбаева И.М., Пупышева У.А., Давлетбаев Р.С. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛ-КООРДИНИРОВАННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ	<b>1-O-31</b>
10-40 – 10-50	<u>Миленин С.А.</u> , Безлепкина К.А., Ардабьевская С.Н., Клокова К.С., Мигулин Д.А., Дроздов Ф.В., Музафаров А.М. СИНТЕЗ ПОЛИСИЛОКСАНОВ С АЗИДОПРОПИЛЬНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ И ИХ ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПО РЕАКЦИИ АЗИД-АЛКИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ	<b>1-O-32</b>
10-50 – 11-00	<u>Пронина Ю.С.</u> , Павловская М.В., Колякина Е.В. КОНТРОЛИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ ПОЛИСТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ ДИТИБЕНЗОАТОВ, ТРИТЮКАРБОНАТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ВЛИЯНИЯ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА	<b>1-O-33</b>
11-00 – 11-10	<u>Томс Р.В.</u> , Медведева С.С., Гервальд А.Ю., Черникова Е.В., Куличихин В.Г., Прокопов Н.И., Плуталова А.В. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ 4-МЕТИЛМОРФОЛИН N-ОКСИДА НА СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА	<b>1-O-34</b>

<b>Школа «Полиэлектролитные наноструктуры»</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: Д.В. Пергушов		
11-30 – 12-15	<u>Борисов О.В.</u> ЭЛЕКТРОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЁТКИ	<b>PL-09</b>
12-15 – 13-00	<u>Крамаренко Е.Ю.</u> МИКРОФАЗНОЕ РАССЛОЕНИЕ В ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТАХ	<b>PL-10</b>
<b>Секция 2. Физико-химические свойства полимеров</b>		<b>Конференц-зал</b>
Председатель: М.А. Симонова		
14-30 – 14-40	<u>Батищева Е.В.</u> , Смирнов Н.Н., Боброва Н.В., Соколова М.П., Смирнов М.А. ИОН-ПРОВОДЯЩИЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИ(2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТой)	<b>2-O-09</b>
14-40 – 14-50	<u>Осипова Н.И.</u> , Томс Р.В., Скворцов И.Ю., Черникова Е.В. СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСПЛАВНОГО ПАН	<b>2-O-10</b>
14-50 – 15-00	<u>Хрусталеv А.Н.</u> , Соколова Л.В. К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ	<b>2-O-11</b>
15-00 – 15-10	<u>Громин С.А.</u> , Пронин Д.С., Соколова Л.В. ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИОКСИДА ТИТАНА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЕЯЗКОСТЬ ФТОРКАУЧУКОВ	<b>2-O-12</b>
15-10 – 15-20	<u>Зубров И.В.</u> , Терехова Е.А., Буслаев Д.Л., Сапрыкина Н.Н., Иванькова Е.Н., Бочек А.М., Юдин В.Е. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОФИБРИЛЛ ИЗ ХИТИНА РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	<b>2-O-13</b>
15-20 – 15-30	<u>Солунина А.А.</u> , Фетин П.А., Лезов А.А., Зорин И.М. ИССЛЕДОВАНИЕ СШИТЫХ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ В РАСТВОРАХ	<b>2-O-14</b>
15-30 – 15-40	<u>Кирилэ Т.Ю.</u> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ	<b>2-O-15</b>
15-40 – 15-50	<u>Эшкурбонов Ф.Б.</u> , Рахмонкулов Ж.Э., Нормуротов Ж.Б., Эшкурбонова М.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ КОБАЛЬТА С ПОЛУЧЕННЫМИ ИОНИТАМИ	<b>2-O-16</b>
<b>Секция 5. Теория и компьютерное моделирование</b>		<b>Кафе «Молекула»</b>
Председатель: Е.Ю. Крамаренко		
14-30 – 14-40	<u>Борздун Н.И.</u> , Ларин С.В., Глова А.Д., Назарычев В.М., Гуртовенко А.А., Люлин С.В. ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ ПОЛИ(3-ГЕКСИЛТИОФЕНА) НА СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ПАРАФИНЫ/АСФАЛЬТЕНА ДЛЯ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	<b>5-O-09</b>
14-40 – 14-50	<u>Кондратьюк Н.Д.</u> , Писарев В.В. ПРЕДСКАЗАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ	<b>5-O-10</b>
14-50 – 15-00	<u>Мельникова С.Д.</u> , Волгин И.В., Ларин С.В. ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА	<b>5-O-11</b>
15-00 – 15-10	<u>Муратов А.Д.</u> ОГРУБЛЁННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИСТАБИЛЬНЫХ СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРОВ	<b>5-O-12</b>
15-10 – 15-20	<u>Лебедева И.О.</u> , Жулина Е.Б., Борисов О.В. САМООРГАНИЗАЦИЯ СОПОЛИМЕРОВ С МОЛЕКУЛЯРНО-ЩЕТОЧНЫМИ БЛОКАМИ В СЕЛЕКТИВНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ	<b>5-O-13</b>

15-20 – 15-30	<u>Назарычев В.М.</u> , Глова А.Д., Ларин С.В., Люлин А.В., Люлин С.В., Гуртовенко А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	<b>5-O-14</b>
15-30 – 15-40	<u>Саламатова Т.О.</u> , Лактионов М.Ю., Жулина Е.Б., Борисов О.В. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА С ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ЩЕТКОЙ: МОДЕЛЬ ПУАССОНА-БОЛЬЦМАНА	<b>5-O-15</b>

# СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

## Секция 1. Синтез и модификация полимеров

- 1-Р-01** Ардабьевская С.Н., Миленин С.А., Музафаров А.М.  
КАРБОСИЛАНОВЫЕ ДЕНДРИМЕРЫ С РАЗЛИЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
ОБОЛОЧКОЙ
- 1-Р-02** Аязбаева А.Е., Шахворостов А.В.  
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМО- И СОЛЕ-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ  
ПОЛИАМФОЛИТНЫХ НАНОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ АКРИЛАМИДА
- 1-Р-03** Блохин А.Н., Разина А.Б., Курлыкин М.П., Теньковцев А.В.  
НОВЫЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИЭФИР-ГРАФТ-ПОЛИОКСАЗОЛИНЫ НА  
ОСНОВЕ СУЛЬФОНИЛХЛОРИДНЫХ МАКРОИНИЦИАТОРОВ
- 1-Р-04** Блохин А.Н., Козина Н.Д., Разина А.Б., Теньковцев А.В.  
СИНТЕЗ МИКТОЛУЧЕВЫХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРОВ С  
КАЛИКС[8]АРЕНОВЫМ ЦЕНТРОМ ВЕТВЛЕНИЯ И ЛУЧАМИ  
ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И ПОЛИ-2-ОКСАЗОЛИНА
- 1-Р-05** Вагин А.А., Борисенко М.С., Соловский М.В.  
СОПОЛИМЕРЫ 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ С 2-  
ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НОСИТЕЛИ  
ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ
- 1-Р-06** Валиуллин К.С., Солдатова А.Е., Цегельская А.Ю., Кузнецов А.А.  
СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ПОЛИИМИДА НА ОСНОВЕ 3,3',4,4'-  
БИФЕНИЛТЕТРАКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ И 1,3-БИС-(4-АМИНОФЕНОКСИ)  
БЕНЗОЛА
- 1-Р-07** Васильев Б.В., Попова Е.Н., Ваганов Г.В., Светличный В.М., Смирнова В.Е., Бугров А.Н.  
ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕСТКИХ БЛОКОВ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И  
ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕГМЕНТНЫХ  
ПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН
- 1-Р-08** Власов А.М., Липушкина Е.А., Григорьева А.О., Зайцев С.Д.  
рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ АГЕНТЫ ОБРАТИМОЙ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ В  
КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ
- 1-Р-09** Горбачев С.А., Зуев В.В.  
СИНТЕЗ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ НА БАЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВ  
СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ИХ МЕЗОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА
- 1-Р-10** Давлетбаева А.Р., Сазонов О.О., Закиров И.Н., Давлетбаева И.М.  
ПАРОПРОНИЦАЕМЫЕ И ПЕРВАПОРАЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИОНОМЕРОВ
- 1-Р-11** Денисова Е.О., Осовская И.И.  
ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ
- 1-Р-12** Доронин Ф.А., Рытиков Г.О., Рудакова А.В., Цуканова А.Ю., В.Г. Назаров  
ПОЛИМОДАЛЬНАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ
- 1-Р-13** Ефимов К.В., Анисимов А.А., Ершова Т.О., Музафаров А.М.  
АНИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ГЕКСАМЕТИЛЦИКЛОТРИСИЛОКСАНА В СРЕДЕ  
АММИАКА, ИНИЦИИРУЕМАЯ СПИРТАМИ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ

- 1-P-14** Зубова В.Ю., Миняйло Е.О., Анисимов А.А., Зайцев А.В., Ольшевская В.А., Бузин М.И., Музафаров А.М.  
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КАРБОРАНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ
- 1-P-15** Иванов И.В., Богорад Н.Н., Кукаркина Н.В., Якиманский А.В.  
БЛОК-ПРИВИТЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЩЕТКИ АВА-ТИПА С ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ БЛОКАМИ
- 1-P-16** Ильина Т.М., Ким Э.Е., Кононевич Ю.Н., Музафаров А.М.  
СИНТЕЗ ПОЛИСИЛОКСАНОВ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЛИГАНДОМ В ОСНОВНОЙ ЦЕПИ
- 1-P-17** Кириллов А.С., Горшков Н.И.  
СИНТЕЗ МИКРОПОРИСТЫХ СВЕРХСШИТЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК
- 1-P-18** Козина Н.Д., Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю.  
СИНТЕЗ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИ(2-ОКСАЗОЛИН)ОВ И ПОЛИ(2-ОКСАЗИН)ОВ НОВОГО ТИПА С КАЛИКС[4]АРЕНОВЫМ ЦЕНТРОМ ВЕТВЛЕНИЯ
- 1-P-19** Крыгина Д.М., Сивцов Е.В., Гостев А.И.  
КИНЕТИКА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА И 2-МЕТИЛ 5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА В ПРИСУТСТВИИ ДИБЕНЗИЛТРИТИОКАРБОНАТА
- 1-P-20** Ксендзов Е.А., Никишев П.А., Костюк С.В.  
ГРАФТ-СОПОЛИМЕРЫ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И МАКРОМОНОМЕРОВ НА ОСНОВЕ D,L-ЛАКТИДА И  $\epsilon$ -КАПРОЛАКТОНА
- 1-P-21** Кудрявцева А.И., Миняйло Е.О., Анисимов А.А., Зайцев А.В., Ольшевская В.А., Музафаров А.М.  
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ОБОЛОЧКИ НА СВОЙСТВА БОР-ЗАМЕЩЕННЫХ КАРБОРАНКАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ
- 1-P-22** Лебедев О.А., Григорьева А.О., Зайцев С.Д.  
ПОЛУЧЕНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА
- 1-P-23** Маратканов А.О., Быкова П.Н., Гостев А.И., Сивцов Е.В.  
КОНТРОЛИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ МЕТОДОМ RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛ-АКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ
- 1-P-24** Меденцева Е.И., Хрычикова А.П., Бермешева Е.В., Кинжалов М.А., Бермешев М.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ Pd-КОМПЛЕКСОВ С АЦИКЛИЧЕСКИМИ ДИАМИНОКАРБЕНОВЫМИ ЛИГАНДАМИ КАК ПРЕДКАТАЛИЗАТОРОВ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 5-ЭТИЛИДЕН-2-НОРБОРНЕНА
- 1-P-25** Нестерова А.С., Мягкова Л.А., Литвинова Л.С., Попова Е.Н., Иванов А.Г., Гофман И.В., Светличный В.М.  
СИНТЕЗ РАСТВОРИМЫХ ПОЛИ(ЭФИР-ИНДОЛОКАРБАЗОЛОВ) И ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ
- 1-P-26** Никифоров А.А., Панина Н.С., Коржикова-Влах Е.Г., Еремин А.В., Степанова М.А.  
ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ С РАСКРЫТИЕМ ЦИКЛА D,L-ЛАКТИДА, КАТАЛИЗИРУЕМАЯ КАРБОКСИЛАТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НИКЕЛЯ(II): ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ
- 1-P-27** Орлова А.М., Колесников Т.И., Боченков В.С., Кузнецов А.А.  
НОВЫЕ ПОЛИЭФИРИМИДЫ ТИПА ULТЕМ С БОКОВЫМИ ПРОПАРГИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

- 1-P-28** Пузырьков А.А., Попова Е.А., Еремин А.В.  
ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА, СОДЕРЖАЩИХ ХЕЛАТНЫЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ  
САЙТЫ
- 1-P-29** Ратников А.К., Крижановский И.Н., Темников М.Н., Анисимов А.А., Музафаров А.М.  
МОДИФИКАЦИЯ НЕФТЕПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ С ПОМОЩЬЮ  
ГИДРОТИОЛИРОВАНИЯ И ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ
- 1-P-30** Рашевский А.А., Дерябин К.В., Исламова Р.М.  
СИНТЕЗ НОВОГО БИЦИКЛИЧЕСКОГО ОЛИГОСИЛОКСАНА ПО РЕАКЦИИ  
КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ
- 1-P-31** Сухова Е.А., Краснова И.Ю., Ардабьевская С.Н., Миленин С.А., Бакиров А.В., Серенко О.А.,  
Музафаров А.М., Шифрина З.Б.  
КАРБОСИЛАНОВЫЕ ДЕНДРИМЕРЫ С ЖЁСТКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ  
ФРАГМЕНТАМИ
- 1-P-32** Трофимук Д.В., Гульник М.И., Кухаренко О.В., Василенко И.В., Костюк С.В.  
КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ТРАНС-АНЕТОЛА В ПРИСУТСТВИИ  
КОМПЛЕКСА  $AlCl_3 \times OPN_2$
- 1-P-33** Чеснокова К.Е., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б., Гришин Д.Ф.  
ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С УЧАСТИЕМ СИСТЕМЫ  
ЦИАНИЗОПРОПИЛ ЙОДИСТЫЙ / ПИНАВЕРДОЛ
- 1-P-34** Шакирова А.Р., Ершова Т.О., Анисимов А.А., Манохина Е.А., Щеголихина О.И.,  
Музафаров А.М.  
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИФЕНИЛСИЛЕСЕСКВИОКСАНОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПРЕКУРСОРОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ
- 1-P-35** Шамсутдинова Р.Н., Солдатова А.Е., Монахова К.З., Ханин Д.А., Бурть Е.С., Плиско Т.В.,  
Кузнецов А.А.  
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ НА ОСНОВЕ 3,4-  
ОКСИДИАНИЛИНА
- 1-P-36** Юрасова Д.И., Шабсельс Б.М., Уклеев Т.А., Шевченко Н.Н.  
ПОЛИМЕРНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ЧАСТИЦ  
«ЯДРО/ОБОЛОЧКА»: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ

## **Секция 2. Физико-химические свойства полимеров**

- 2-P-01** Аджиева О.А., Грингольц М.Л., Литманович Е.А., Кудрявцев Я.В.  
САМООРГАНИЗАЦИЯ МЕТАТЕЗИСНЫХ СОПОЛИМЕРОВ ЦИКЛООКТЕНА И  
ФТОРСОДЕРЖАЩИХ НОРБОРНЕНОВ В РАСТВОРЕ
- 2-P-02** Волгина Е.А., Герасимов Д.И., Лаврентьев В.К., Темнов Д.Э.  
ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ  
ПЛЕНКАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА
- 2-P-03** Вырезкова Е.В., Зоолшоев З.Ф., Розова Е.Ю., Курындин И.С., Ельяшевич Г.К.  
ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ  
КАК МАТРИЦЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ
- 2-P-04** Герасенкова А.И., Бакеева И.В., Лозинский В.И.  
ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ГИБРИДНЫХ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО  
СПИРТА

- 2-P-05** Герасимов Д.И., Лаврентьев В.К., Никонорова Н.А., Попова Е.Н., Смирнова В.Е., Курьиндин И.С., Ельяшевич Г.К.  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ И НАДМОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ И ОТОЖЖЕННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА
- 2-P-06** Герасимов Д.И., Курьиндин И.С., Ваганов Г.В., Вылегжанина М.Э., Ельяшевич Г.К.  
СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ И СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА
- 2-P-07** Гостева А.А., Симонова М.А.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ В РАСТВОРАХ ЗАРЯЖЕННЫХ СОПОЛИМЕРОВ
- 2-P-08** Григорьева А.О., Зайцев С.Д.  
АМФИФИЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ФТОРАКРИЛАТОВ: ПОВЕДЕНИЕ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ ВОДА/ВОЗДУХ
- 2-P-09** Джайасингхе Б.М.Д.Н.С., Борисова М.Э., Диденко А.Л., Камалов А.М., Павлов А.А.  
АБСОРБЦИОННЫЕ И НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ Р-СОД И Р-ОДФО
- 2-P-10** Доммес О.А., Гостева А.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.  
ПОВЕДЕНИЕ АССОЦИИРУЮЩИХ ЗАРЯЖЕННЫХ СОПОЛИМЕРОВ В РАЗНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ
- 2-P-11** Доммес О.А., Окатова О.В., Колбина Г.Ф., Павлов Г.М.  
ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СВОЙСТВ КАМЕДЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
- 2-P-12** Каморин Д.М., Симонова М.А., Казанцев О.А., Филиппов А.П.  
МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛОВЫХ ЭФИРОВ И АМИДОВ
- 2-P-13** Карпова Е.А., Есин. А.С., Горлов М.В., Бредов Н.С., Поляков В.А.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ АМИНОЗАМЕЩЕННЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОЛИГОФОСФАЗЕНОВ
- 2-P-14** Каскевич К.И., Симонова М.А., Ильгач Д.М., Филиппов А.П., Литвинова Л.С., Якиманский А.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ МАКРОМОЛЕКУЛ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЛУОРЕНА С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ЭТАНОЛЕ И ВОДЕ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОПОЛИМЕРОВ С КУРКУМИНОМ
- 2-P-15** Кольченко С.К., Михаилиди А.М., Сапрыкина Н.Н., Котельникова Н.Е.  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ГИДРОГЕЛИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ БУМАЖНЫХ ОТХОДОВ
- 2-P-16** Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Смирнова А.В., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.  
САМООРГАНИЗАЦИЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ
- 2-P-17** Красова А.С., Тарабукина Е.Б., Филиппов А.П.  
ВЛИЯНИЕ NaCl НА ТЕРМО- И pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АНИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА
- 2-P-18** Кузнецова Е.К., Шибасев А.В., Филиппова О.Е.  
СИНТЕЗ МИКРОГЕЛЕЙ ГИДРОКСИПРОПИЛГУАРА МЕТОДОМ ЭМУЛЬСИОННОГО СШИВАНИЯ

- 2-Р-19** Лешан В.В., Симонова М.А, Каморин Д.М., Казанцев О.А, Филиппов А.П.  
ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЕВОГО БЛОКА НА  
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ И  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ  
МЕТОКСИ (ОЛИГОЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ-БЛОК-  
ОЛИГОПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ)МЕТАКРИЛАТОВ
- 2-Р-20** Максимов Г.А., Аким Э.Л., Розова Е.Ю., Курьин И.С., Ельяшевич Г.К.  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АРАБИНОГАЛАКТАНА И  
ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОДЛОЖЕК
- 2-Р-21** Маркова Т.А., Кирилэ Т.Ю., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ  
ПОЛИРОТАКСАНОВ
- 2-Р-22** Никитина Е.А., Капралова В.М.  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО  
СПИРТА
- 2-Р-23** Оспенников А.С., Куклин А.И., Шibaев А.В., Филиппова О.Е.  
РАЗРУШЕНИЕ СМЕШАННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МИЦЕЛЛ ПОВЕРХНОСТНО-  
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СОЛЮБИЛИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ С РАЗЛИЧНОЙ  
ПОЛЯРНОСТЬЮ
- 2-Р-24** Родченко С.В., Миленин С.А., Курлыкин М.П., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.  
САМООРГАНИЗАЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИВИТЫХ  
ПОЛИ-2-ИЗОПРОПИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ
- 2-Р-25** Рябинин Г.В., Гаркушина И.С.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНОГО ГЕТЕРОСЕТЧАТОГО  
СОРБЕНТА БДМ-12
- 2-Р-26** Садков Д.А., Симонова М.А., Каморин Д.М., Казанцев О.А., Филиппов А.П.  
СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ  
СВОЙСТВА ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЩЕТОК С  
ОЛИГО(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ)- ОЛИГО(ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬНЫМИ) БОКОВЫМИ  
ЦЕПЯМИ С ДМАПМА
- 2-Р-27** Сотова Ю.И., Лаврентьев В.К., Никонорова Н.А., Попова Е.Н., Курьин И.С.,  
Ельяшевич Г.К.  
ОХАРАКТЕРИЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЬЕЗОАКТИВНЫХ ПЛЕНОК  
СОПОЛИМЕРА ВИНИЛИДЕНФТОРИДА С ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОМ
- 2-Р-28** Харламова К.И., Симонов-Емельянов И.Д.  
ТЕОРИЯ СВОБОДНОГО ПРОСТРАНСТВА И ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДИСПЕРСНЫХ  
ЧАСТИЦ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 2-Р-29** Каморин Д.М., Ожогин С.А., Симонова М.А.  
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА  
ОСНОВЕ АЛКОКСИ(ОЛИГОЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ)МЕТАКРИЛАТОВ И  
N,N-[(ДИМЕТИЛАМИНО)ПРОПИЛ]МЕТАКРИЛАМИДА

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

- 3-Р-01** Бижеецкий А.С.  
МАГНИТНЫЕ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЁНКИ

- 3-P-02** Буслаев Д.Л., Диденко А.Л., Кудрявцев В.В., Смирнова В.Е., Гофман И.В., Абалов И.В., Юдин В.Е., Бочек А.М.  
СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ  
МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИУРЕТАНИМИДОМ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ  
СМЕСЕЙ В ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ
- 3-P-03** Быкова Е.Н., Гофман И.В., Абалов И.В.  
ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК  
АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ И НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ В  
ПРОЦЕССЕ ГИДРОЛИЗА
- 3-P-04** Ваганов Г.В., Радченко И.Л., Поляков И.В., Елоховский В.Ю., Иванькова Е.М.  
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕНАПОЛНЕННЫХ ПОЛИИМИДНЫХ ОБРАЗЦОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ
- 3-P-05** Гасымов М.М., Роговина С.З., Ломакин С.М., Кузнецова О.П., Ермолаев И.М., Шевченко В.Г.  
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА,  
СОДЕРЖАЩИХ В КАЧЕСТВЕ НАНОПОЛНИТЕЛЕЙ НАНОЧАСТИЦЫ  
ТЕМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА,  
ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СПОСОБОМ
- 3-P-06** Горшкова А.Р., Саломатина Е.В., Лукичев И., Пикулин А.В., Смирнова Л.А.  
АМФИФИЛЬНЫЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ СТИРОЛА С  
4-ВИНИЛПИРИДИНОМ ИЛИ ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ И ИХ  
НАНОКОМПОЗИТЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА
- 3-P-07** Есина А.В., Генералов Р.И., Неверовская А.Ю.  
ГИДРОФИЛЬНЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ
- 3-P-08** Есина А.В., Нечаева Е.А., Неверовская А.Ю.  
ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И ПОДГОТОВКИ НАНОУГЛЕРОДОВ В КАЧЕСТВЕ  
МОДИФИКАТОРОВ МАТРИЦЫ ПОЛИУРЕТАНОВ
- 3-P-09** Зеленцов М.Д., Симонова М.А., Жукова Е.С., Якиманский А.В., Литвинова Л.С.,  
Филиппов А.П.  
МОЛЕКУЛЯРНО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРНО-  
КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИФЛУОРЕНОВ В РАЗБАВЛЕННЫХ  
РАСТВОРАХ
- 3-P-10** Ким Э.Е., Белова А.С., Кононевич Ю.Н., Польщикова Н.В., Филимонова Л.В.,  
Сергиенко Н.В., Никифорова Г.Г., Бузин М.И., Щеголихина О.И., Музафаров А.М.  
ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ МАТРИЦ
- 3-P-11** Кириченко С.О., Москалюк О.А., Лятун И.И., Шиловских В.В., Голдаев А.Н., Снигирев А.А.,  
Погребняков П.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТОКОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТНЫХ  
ПОЛИМЕРНЫХ НИТЕЙ
- 3-P-12** Костров С.А., Шейко С.С., Крамаренко Е.Ю.  
МАГНИТОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НОВОГО ТИПА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ  
ОРИЕНТАЦИИ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ IN SITU
- 3-P-13** Лыткина Д.Н., Садыков Р.Т., Шалыгина К.Д., Курзина И.А.  
КОМПОЗИЦИОННЫЕ КРИОГЕЛИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, НАПОЛНЕННЫЕ  
ФОСФАТАМИ КАЛЬЦИЯ
- 3-P-14** Лятун И.И., Медведская П.Н., Баранников А.А., Юнкин В.А., Зверев Д.А., Снигирев А.А.  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ

- 3-Р-15** Молчанов Д.В., Москалюк О.А., Кириченко С.Ю., Шиловских В.В., Голдаев А.Н., Погребняков П.В.  
ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ МОНОФИЛОМЕНТНОЙ КОМПОЗИТНОЙ НИТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОЙ НАГРУЗКИ
- 3-Р-16** Николаева А.Л., Бугров А.Н., Соколова М.П., Иванькова Е.М., Абалов И.В., Власова Е.Н., Гофман И.В.  
НАНОЧАСТИЦЫ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ: ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ МОДИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК
- 3-Р-17** Полотнянников К.С., Светличный В.М., Ваганов Г.В., Мягкова Л.А., Попова Е.Н., Иванькова Е.М., Юдин В.Е.  
ПЕНООБРАЗУЮЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ
- 3-Р-18** Терехова Е.А., Афанасьева Н.В., Лаврентьев В.К., Гофман И.В., Абалов И.В., Бочек А.М.  
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТРИАЦЕТАТА- И ДИАЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ГРАФЕНОМ
- 3-Р-19** Шишов М.А., Завражных Н.Е., Щербаков А.Е., Спивак Ю.М.  
КОМПОЗИЦИОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ И МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

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

- 4-Р-01** Авдеев М.М., Корнилаева Г.В., Лиу В.Дж., Соуза Т.М.Л., Гао Г.Ф., Карамов Е.В., Шибаев А.В., Филиппова О.Е.  
КОМПЛЕКСЫ ХИТОЗАНА И АНИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ ПРОТИВ SARS-COV-2
- 4-Р-02** Аликпарова Э.Р., Караулова А.Н., Коржиков-Влах В.А.  
КОМПОЗИТНЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ И НАНОЧАСТИЦ ПОЛИ(МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ) В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ КАРБОАНГИДРАЗЫ
- 4-Р-03** Баранова А.Е., Осовская И.И.  
ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГАРА ИЗ КРАСНЫХ МОРСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ РОДА PORPHYRA
- 4-Р-04** Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.  
КОНЬЮГАТЫ КОЛИСТИН-ХИТОЗАН: СИНТЕЗ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
- 4-Р-05** Гладнев С.В., Зашихина Н.Н., Коржикова-Влах Е.Г.  
КОНЬЮГАТЫ ДЕКСАМЕТАЗОНА С АМФИФИЛЬНЫМИ ПОЛИПЕПТИДАМИ
- 4-Р-06** Григорьев Д.В., Сивцов Е.В., Гостев А.И., Успенская М.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ И НАНОАЛМАЗНЫХ ЧАСТИЦ
- 4-Р-07** Дворецкая А.В., Левит М.Л., Сивцов Е.В., Егорова Т.С., Коржикова-Влах Е.Г.  
ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ КОНЬЮГАТОВ ПОЛИМИКСИНА С РАЗЛИЧНЫМИ СИНТЕТИЧЕСКИМИ ПОЛИМЕРАМИ

- 4-P-08** Дец Е.А., Якимов Н.П., Мелик-Нубаров Н.С.  
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОРЕАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРОКСИОКСАЛАТНОЙ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ РЕАКЦИИ В ВОДЕ
- 4-P-09** Дубров Е.Н., Иванова А.М., Иванов А.Г.  
СИНТЕЗ НОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ (IV) НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ВИТАМИНА В<sub>6</sub>
- 4-P-10** Дубров Е.Н., Черкашина В.Г., Иванов А.Г.  
ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА ВАНАДИЯ(IV) НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА N ВИНИЛПИРРОЛИДОНА С N ВИНИЛСАЛИЦИЛИДЕНИМИНОМ
- 4-P-11** Завражных Н.А., Шишов М.А., Селютин А.А., Яворская О.А., Иванькова Е.М., Сапурина И.Ю., Юдин В.Е.  
ЭЛЕКТРОФОРМОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИПИРРОЛА
- 4-P-12** Зеленцова Е.В., Пошина Д.Н., Скорик Ю.А.  
СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ТАКСАНОВ НА ОСНОВЕ КОНЪЮГАТОВ С ХИТОЗАНОМ
- 4-P-13** Кириллов А.С., Малахова И.И., Горшков Н.И.  
ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ БИОПОЛИМЕРОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
- 4-P-14** Кислинская М.А., Кудрявцева Е.В., Шалыгина В.В.  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТБЕЛИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЗУБНЫХ ПАСТ С НАТИВНЫМ И КАПСУЛИРОВАННЫМ ФЕРМЕНТНЫМ ПРЕПАРАТОМ
- 4-P-15** Левит М.Л., Зашихина Н.Н., Коржикова-Влах Е.Г.  
СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ПАКЛИТАКСЕЛА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ГЛИКОПОЛИМЕР-БЛОК-ПОЛИПЕПТИДОВ
- 4-P-16** Левит М.Л., Зашихина Н.Н., Гостев А.И., Сивцов Е.В., Коржикова-Влах Е.Г.  
БИОПОДОБНЫЕ НАНОКОНТЕЙНЕРЫ НА ОСНОВЕ ХОЛЕСТЕРИНСОДЕРЖАЩИХ СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ
- 4-P-17** Лунева О.В., Быкова К., Кашурин А.И., Успенская М.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТАКСИФОЛИН-СОДЕРЖАЩИХ КОЛЛАГЕН-АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ
- 4-P-18** Масгутов И.И., Попова Е.А., Исаев А.В., Байрамуков В.Ю., Еремин А.В.  
МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИНТЕРКАЛИРОВАННЫМИ АТОМАМИ ЕВРОПИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ЗОНДОВ
- 4-P-19** Мишанин А.И., Петрова В.А., Хрипунов А.К., Головкин А.С., Гофман И.В., Романов Д.П., Архарова Н.А., Клечковская В.В., Скорик Ю.А.  
БИОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ИХ ЦИТОСОВМЕСТИМОСТЬ
- 4-P-20** Морозова П.Ю., Осипенко А.А., Панюта А.С. Гаркушина И.С.  
ГРАНУЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТНО ИМПРИНТИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРЫ С АФФИННЫМ СРОДСТВОМ К МОЛЕКУЛАМ ГЛЮКОЗЫ
- 4-P-21** Осетров К.О., Успенская М.В.  
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РАНЕВЫХ ПОВЯЗОК – ЖЕЛАТИН/ТАНИНОВЫЕ ГИДРОГЕЛИ

- 4-P-22** Попов А.С., Ефимова А.А., Ярославов А.А., Лукашов Н.В., Казанцев А.В.  
НОВЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ (3-  
(ИЗОБУТИЛАМИНО)ХОЛ-24-АНОВАЯ КИСЛОТА) ДЛЯ СОЗДАНИЯ pH-  
ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МУЛЬТИЛИПОСОМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
- 4-P-23** Сальникова Ж.А., Кононов А.А., Кастро Р.А.  
ИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В РАСТВОРАХ АЛЬБУМИНА  
ЧЕЛОВЕКА
- 4-P-24** Середкина П.М., Чабина А.С., Нашекин А.В., Лихачев А.И., Нашекина Ю.А.  
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИ-ε-КАПРОЛАКТОНА НА АДСОРБЦИЮ АРГИНИНА
- 4-P-25** Тагандурдыева Н.А., Дресвянина Е.Н., Добровольская И.П., Юдин В.Е.  
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОНДУИТОВ  
ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ПЕРЕФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ
- 4-P-26** Трушина Д.Б., Сапач А.Ю., Бурачевская О.А., Паллаева Т.Н., Солдатов М.В., Бутова В.В.  
СИСТЕМА АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ДОКСОРУБИЦИНА НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ  
МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ
- 4-P-27** Ушакова О.С., Гегель Н.О., Шиповская А.Б.  
ХИРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ ХИТОЗАНА  
С L- И D-АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТОЙ
- 4-P-28** Чеснокова Е.Б., Зарубаев В.В., Бучков Е.В., Назарова О.В., Золотова Ю.И.,  
Панарин Е.Ф.  
СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ИНАКТИВАЦИИ  
ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

### ***Секция 5. Теория и компьютерное моделирование***

- 5-P-01** Дещеня В.И., Кондратюк Н.Д., Ланкин А.В., Норман Г.Э.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ САХАРОВ МЕТОДОМ  
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ
- 5-P-02** Логунов М.А., Орехов Н.Д.  
МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ  
ЗАЦЕПЛЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОР ПРИ  
ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОЛИЭТИЛЕНА
- 5-P-03** Наджарьян Т.А., Крамаренко Е.Ю.  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТКЛИКА  
МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК

### ***Секция 6. Применение полимерных материалов***

- 6-P-01** Вакулюк А.Ю., Розова Е.Ю., Зоолшоев З.Ф., Гофман И.В., Соколова М.П.,  
Смирнов М.А.  
3D-ПЕЧАТЬ ТЕРМООТВЕРЖДАЕМЫМИ ГИДРОГЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И  
β-ГЛИЦЕРОФОСФАТА
- 6-P-02** Исламова З.Ш., Набиева И.А., Миратаев А.А.  
ХОЛОДНЫЙ СПОСОБ КРАШЕНИЯ ШЕРСТИ
- 6-P-03** Набиева И.А., Йулдошева Д.Ш., Сашина Е.С.  
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТОГО ЭФИРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
(ВОДОРОАСТВОРИМОГО) В ПРОЦЕССАХ ШЛИХТОВАНИЯ И ПЕЧАТАНИЯ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

- 6-P-04** Ким А.Л., Тихоненко С.А., Мусин Е.В., Дубровский А.В.  
РАЗРАБОТКА ФЕРМЕНТАТИВНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
МНОГОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
- 6-P-05** Маркова С.Ю., Тепляков В.В.  
ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ  
ПОЛИ-4-МЕТИЛПЕНТЕНА-1 НА ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ
- 6-P-06** Михайлова И.В., Кудрявцева Е.В., Шалыгина В.В.  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ  
СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА И АКРИЛГИДРОКСАМОВОЙ КИСЛОТЫ
- 6-P-07** Мошков А.И., Осовская И.И.  
ВЛИЯНИЕ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО  
СВЯЗУЮЩЕГО
- 6-P-08** Мызников Д.Д., Кузьминова А.И., Дмитренко М.Е., Золотарёв А.А., Пенькова А.В.  
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ  
КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
- 6-P-09** Мухаметгазы Н., Гусенов И.  
ПОЛИМЕРНОЕ ЗАВОДНЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АМФОТЕРНОГО ТЕРПОЛИМЕРА
- 6-P-10** Новосад Ю.А., Нашекина Ю.А., Иванькова Е.М., Юдин В.Е.  
ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ПЕРЕВОДА МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С  
ДОБАВЛЕНИЕМ ЧАСТИЦ ГИДРОКСАПАТИТА В НЕРАСТВОРИМУЮ В ВОДЕ ФОРМУ  
НА УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА И НА ЕГО ТОКСИЧНОСТЬ
- 6-P-11** Прядезников Б.Ю., Москалюк О.А., Шиловских В.В., Попова Е.Н., Кенчадзе Г.Б., Бутузов В.Н.  
РАЗРАБОТКА ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА С ТЕПЛОРЕГУЛИРУЮЩИМИ  
СВОЙСТВАМИ
- 6-P-12** Рахманов А.А., Симонова М.А.  
НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОГО  
СОСТАВА И ГРАЖДАНСКИХ ЛИЦ
- 6-P-13** Рашмакова А.Е., Шанвар С., Колякина Е.В., Павловская М.В.  
ДИТИОБЕНЗОАТЫ КАК АГЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ В СИНТЕЗЕ ВЯЗКОСТНЫХ  
ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ ВЫСШИХ АЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ
- 6-P-14** Ромашева М.М., Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю.  
СОСТАВ ВАРОЧНЫХ РАСТВОРОВ ПОСЛЕ ПЕРОКСИДНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ  
ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ТОПИНАМБУРА
- 6-P-15** Свищёва Н.Б., Успенский С.А.  
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ КАК МАТРИЦЫ  
БОРСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ С МЕДЛЕННЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ
- 6-P-16** Селезнева Л.Д., Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Попов А.А.  
ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА В  
ПРОЦЕССЕ БИОДЕГРАДАЦИИ В ПОЧВЕ
- 6-P-17** Сорокина С.А., Кучкина Н.В., Михальченко А.В., Долуда В.Ю., Матвеева В.Г., Сульман М.Г., Шифрина З.Б.  
ГИБРИДНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПИРИДИЛФЕНИЛЕНОВОГО ПОЛИМЕРА  
И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФИКСАЦИИ CO<sub>2</sub>
- 6-P-18** Сорокина С.А., Кучкина Н.В., Белякина П.С., Кулакова М. П., Шифрина З.Б.  
НАНОКОМПОЗИТЫ НИКЕЛЯ И ПИРИДИЛФЕНИЛЕНОВОГО ПОЛИМЕРА КАК  
ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ РЕАКЦИИ СУЗУКИ-МИЯУРА

- 6-P-19** Терентьева Д.А., Кар А.И., Солдатов М.А.  
ПОРИСТЫЕ ФОСФАЗЕН-СИЛОКСАНОВЫЕ НОСИТЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО  
ВЫСВОБОЖДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
- 6-P-20** Третьяков А.А.  
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТНОМ МАТЕРИАЛЕ НА ОСНОВЕ  
ПОИАНИЛИНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ
- 6-P-21** Тян Н.С., Файков И.И., Ростовцева В.А., Подешво И.В., Пулялина А.Ю., Полоцкая Г.А.  
ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИГИДРАЗИДИМИДА И ЕГО МЕТАЛЛ-  
ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА
- 6-P-22** Рябикова М.А., Тян Н.С., Файков И.И., Ростовцева В.А., Сеньчукова А.С., Пулялина А.Ю.,  
Полоцкая Г.А.  
ВЛИЯНИЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА НА РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА  
УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН
- 6-P-23** Файков И.И., Пулялина А.Ю., Ростовцева В.А., Сорокина А.С., Зоолшоев З.Ф., Полоцкая Г.А.  
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА (ЗВЕЗДОБРАЗНАЯ  
МАКРОМОЛЕКУЛА – ИОННАЯ ЖИДКОСТЬ) НА СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ  
СВОЙСТВА ПОЛИАМИДНЫХ МЕМБРАН
- 6-P-24** Файков И.И., Пулялина А.Ю., Ростовцева В.А., Сапрыкина Н.Н., Полоцкая Г.А.  
ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫЕ ОКСИДЫ КАК МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ ДИФФУЗИОННЫХ  
МЕМБРАН
- 6-P-25** Федотова В.С., Соколова М.П., Сивцов Е.В., Смирнов М.А.  
АКРИЛАТЫ ХОЛИНА И 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ КАК  
ПОЛИМЕРИЗУЮЩИЕСЯ ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ
- 6-P-26** Чепелева А.Д., Кузьмина А.И., Золотарев А.А., Дмитренко М.Е., Пенькова А.В.  
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИМИ КАРКАСНЫМИ  
СТРУКТУРАМИ, ДЛЯ НАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ
- 6-P-27** Чепелева А.Д., Лямин В.П., Кузьмина А.И., Пенькова А.В., Дмитренко М.Е.  
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ГРАФЕНА, ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА  
ПЕРВАПОРАЦИОННОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ
- 6-P-28** Овчинников В.А., Масталыгина Е.Е., Пантюхов П.В., Попов А.А.  
ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК С СОДЕРЖАНИЕМ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕХОДНОЙ ВАЛЕНТНОСТИ  
НА ПРОЦЕСС БИОРАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЫ

Хаширова С.Ю.

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,  
Нальчик  
new\_kompozit@mail.ru*

Современная аэрокосмическая отрасль и медицина предъявляет к полимерным материалам высокие требования как по физико-механическим характеристикам, так и технологичности при изготовлении изделия.

В этом плане высокотемпературные термопласты являются самыми перспективными материалами для ответственных применений. Сочетание этих материалов с аддитивным производственным процессом (3D печатью) открывает широкие возможности для создания новых образцов конкурентной техники и персонализированных имплантатов.

Однако применение суперконструкционных полимеров и композитов в 3D печати ограничивается рядом сложных проблем, решение которых требует определенного научно-технического задела [1].

В докладе рассмотрены конкретные примеры проблем, возникающих при 3D печати аморфными и кристаллическими суперконструкционными полимерами, волокнонаполненными композитами и способы их решения, разработанные в Центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ. Приведены новые подходы к модификации полимеров и композитов для их адаптации к аддитивным технологиям и получения напечатанных изделий с физико-механическими характеристиками, не уступающими литьевым.

Показано, что на сегодняшний день суперконструкционные полимеры и композиты на их основе являются наиболее перспективными материалами для использования в качестве имплантатов. В сочетании с 3D и 4D печатью они значительно расширяют возможности для получения персонализированных имплантатов [2].

Особое внимание уделено проблемам, возникающим при остеоинтеграции имплантатов на основе суперконструкционных полимеров и способам их решения, регулированию механических свойств для получения качественных изделий, близких по свойствам к костной ткани человека. Приведены примеры новых подходов к модификации полимеров и композитов для улучшения показателей остеоинтеграции.

Продемонстрированы примеры успешного применения напечатанных изделий из суперконструкционных полимеров и композитов в авиакосмической отрасли и медицине.

### **Список литературы:**

[1] *Slonov, A., Musov, I., Zhansitov, A., Khakulova, D., Khashirova, S. Polymers* **12(5)**, 1056 (2020).

[2] *Slonov A.L., Khashirov A.A., Zhansitov A.A., Rzhetskaya E.V., Khashirova S.Yu. Rapid prototyping journal* **24 (7)**, 1124 (2018).

**МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КОНТРОЛИРУЕМОЙ КАТИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

Костюк С.В.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», ул. Ленинградская, 14, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Институт регенеративной медицины Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, ул. Трубецкая 8/2, Москва, Россия  
kostjuks@bsu.by

Контролируемая катионная полимеризация, открытая в середине 1980-х годов исследовательскими группами под руководством Хигашимуры (Япония) и Кеннеди (США), является основным методом синтеза функциональных полимеров и более сложных макромолекулярных структур на основе изобутилена – мономера, полимеризующегося только по катионному механизму [1]. В данной работе будут представлены результаты наших исследований по разработке новых каталитических систем для синтеза ди- и три- функциональных полиизобутиленов, а также использования их для получения гибких нанокомпозитов с квантовыми точками [2,3]. В докладе также будут обсуждены исследования по синтезу тройных блок-сополимеров изобутилена со стиролом, их нанокомпозитов с углеродными нанотрубками, а также их возможному использованию для получения сердечных клапанов [4,5]. Далее нами будут продемонстрированы возможности контролируемой катионной полимеризации в получении новых полимеров с высокими термическими и механическими показателями на основе мономеров, полученных из возобновляемого сырья. В заключении, будут обсуждены перспективы дальнейшего развития в области контролируемой катионной полимеризации изобутилена.

**Список литературы:**

- [1] Aoshima S., Kanaoka S. Chem. Rev. **109**, 5245 (2009).  
[2] Shiman D.I., Sayevich V., Meerbach C., Nikishau P.A., Vasilenko I.V., Gaponik N., Kostjuk S.V., Lesnyak V. ACS Appl. Nano Mater. **2**, 965, (2019).  
[3] Prudnikau A., Shiman D.I., Ksendzov E., Harwell J., Bolotina E.A., Nikishau P.A., Kostjuk S.V., Samuel I.D.W., Lesnyak V. Nanoscale Adv. **3**, 1443 (2021).  
[4] Ovcharenko E., Rezvova M., Nikishau P., Kostjuk S., Glushkova T., Antonova L., Akentieva T., Shishkova D., Krivikina E., Klyshnikov K., Kudryavtseva Y., Barbarash L. Applied Sciences. **9**, 4773 (2019).  
[5] Rezvova M.A., Nikishau P.A., Makarevich M.I., Glushkova T.V., Klyshnikov K., Yu., Akentieva T.N., Efimova O.S., Nikitin A.P., Malysheva V. Yu., Matveeva V.G., Senokosova E.A., Khanova M. Yu., Danilov V.V., Russakov D.M., Ismagilov Z.R., Kostjuk, S.V., Ovcharenko E.A. Nanomaterials **12**, 733 (2022)

**Благодарности**

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

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОХРОМНЫЕ ЖК ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИТЫ**

Бобровский А.Ю.

*Химический факультет Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
bbrvsky@yahoo.com*

Создание и изучение стимул-чувствительных полимерных систем является одним из наиболее успешно развиваемых направлений современной науки о полимерах. Это обусловлено, прежде всего, огромным потенциалом их практического использования в качестве материалов для создания pH-, термо-, фото-, электро-, магнито-управляемых «умных» плёнок, поверхностей, сенсоров и т.д.

В докладе пойдёт речь об основных результатах нашей лаборатории по созданию и исследованию новых стимул-чувствительных жидкокристаллических (ЖК) полимеров и ЖК композитов [1, 2].

Будут рассмотрены три основных способа фоторегулирования структуры и оптических свойств ЖК-систем: (i) фотоиндуцированный изотермический фазовый переход, (ii) фотоиндуцированное изменение закручивающей способности хиральных фрагментов, (iii) процессы фотоориентации под действием поляризованным светом. В первом случае воздействие света на ЖК азобензол-содержащие полимеры и композиты приводит к процессу E-Z изомеризации фотохромных групп, что сопровождается уменьшением их анизотропии и, как следствие, переходом из ЖК фазы в изотропную. Данный переход приводит к значительному изменению оптических свойств системы – падению дихроизма и двулучепреломления. Во втором случае воздействие света на фотоактивные холестерические ЖК полимеры и композиты приводит к изменению конфигурации хирально-фотохромных групп и уменьшению их закручивающей способности. Вследствие этого происходит изменение шага спирали и длины волны селективного отражения света. Процессы фотоориентации под действием поляризованного света позволяют индуцировать высокие значения дихроизма и двулучепреломления, а также при помощи голографии формировать дифракционные решётки.

Использование этих методов фоторегулирования позволило получить несколько новых классов фоточувствительных многофункциональных ЖК полимеров и композитов, которые могут найти применение в фотонике, оптоэлектронике, для записи и хранения информации.

**Список литературы:**

- [1] Шибяев В.П., Бобровский А.Ю. Успехи химии **86**, 1024 (2017).  
[2] Ryabchun A., Bobrovsky A. Adv. Opt. Mater. **6**, 1800335 (2018).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-53-26007) и Российского научного фонда (грант № 22-13-00055).*

## ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ БИОМАРКЕРЫ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ И КЛЕТОЧНОЙ БИОЛОГИИ

Степаненко О.В.

*Институт цитологии РАН, г. Санкт-Петербург  
lvs@incras.ru*

В настоящее время изучение биологических процессов внутри клетки не обходится без использования флуоресцентных биомаркеров. Генетически кодируемые белковые флуоресцентные биомаркеры дают неоспоримое преимущество для визуализации внутриклеточных структур и изучения биологических процессов, протекающих в живых клетках, тканях и органах целого организма. Рассмотрены две основные группы современных флуоресцентных биомаркеров, GFP-подобные флуоресцентные белки [1] и ближне-инфракрасные флуоресцентные белки (NIR FPs), разработанные на основе бактериальных фитохромов [2]. Спектры флуоресценции GFP-подобных флуоресцентных белков перекрывают всю видимую область спектра от синей до дальней красной. Спектры поглощения и флуоресценции NIR FPs попадают в «окно прозрачности» биологических тканей в ближне-инфракрасном диапазоне спектра (650–900 нм), где поглощение меланина и гемоглобина эритроцитов, а также воды, минимально. Благодаря спектральному разнообразию биомаркеров обеих групп возможно многоцветное мечение нескольких объектов разными флуоресцентными биомаркерами, одновременное использование нескольких биосенсоров на основе флуоресцентных биомаркеров, совместное использование флуоресцентных биомаркеров с оптогенетическими конструкциями, например, на основе криптохромов или родопсинов. Во многом благодаря появлению GFP-подобных флуоресцентных белков стало возможным широкое распространение уже существующих, а также разработка новых видов флуоресцентной микроскопии для изучения процессов в живых клетках. Основной областью применения ближне-инфракрасных флуоресцентных биомаркеров можно считать прижизненное изучение физиологических и патологических процессов в модельных животных.

В заключение обсуждается способность флуоресцентного биомаркера superfolder GFP образовывать амилоидные фибриллы, схожие по структуре и свойствам с патологическими амилоидами, формирующимися в организме пациентов с тяжелыми заболеваниями (такими как болезнь Альцгеймера, Паркинсона, прионные болезни и др.) [3], а также возможность использования амилоидогенных свойств superfolder GFP для изучения структурных преобразований белков со схожей топологией в процессе фибрилlogenеза.

### **Список литературы:**

- [1] *Rodriguez E.A., Campbell R.E., Lin J.Y., Lin M.Z., Miyawaki A., Palmer A.E., Shu X., Zhang J., Tsien R.Y.* Trends Biochem. Sci. **42**, 111 (2017).
- [2] *Chernov K.G., Redchuk T.A., Omelina E.S., Verkhusha V.V.* Chem. Rev. **117**, 6423 (2017).
- [3] *Stepanenko O.V., Sulatsky M.I., Mikhailova E.V., Kuznetsova I.M., Turoverov K.K., Stepanenko O.V., Sulatskaya A.I.* Int. J. Biol. Macromol. **192**, 1304 (2021).

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИСИЛОКСАНЫ – НОВАЯ ЭРА В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ?

Исламова Р.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург  
r.islamova@spbu.ru*

В докладе будут проанализированы современные исследования и тенденции в области синтеза новых функциональных (co)полисилоксанов, а также силиконовых материалов на их основе.

В частности, будут продемонстрированы основные результаты, полученные коллективом научной группы «Функциональные полисилоксаны и материалы на их основе» (Институт химии СПбГУ) при сотрудничестве с коллегами из других групп.

Будут представлены исследования электроактивных сополисилоксанов и электропроводящих (нано)композитов на их основе, которые нашли свое применение в составе гибких оптоэлектронных устройств, а также нейрональных имплантов.

Будут проанализированы исследования по самовосстанавливающимся (self-healing) силиконовым материалам, которые можно использовать в качестве самозаживляемых покрытий в электротехнике и мягкой робототехнике.

Будут обсуждены различные подходы для получения люминесцирующих (включая термочувствительные) силиконовых мембран, а именно с использованием люминесцирующих наполнителей (филлеров) в процессе сшивки (co)полисилоксанов и с помощью модификации полисилоксанов (при введении люминофоров в качестве боковых групп основной полисилоксановой цепи или за счет получения металлополимерных комплексов). Будут рассмотрены их возможные области применения.

### **Благодарности**

*Электроактивные и люминесцирующие силиконовые материалы для гибких оптоэлектронных устройств были получены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 20-19-00256). Силиконовые резины в качестве защитных мембран были разработаны при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект 94385659).*

## ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВОГО РАСПАДА ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ И ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН

Волков А.В.<sup>1</sup>, Анохина Т.С.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия  
avolkov@ips.ac.ru*

Оптимальная морфология мембран, определяющая их разделительные и эксплуатационные характеристики, закладывается на стадии их получения. Поиск оптимальных условий формирования является трудоемким и длительным процессом, требующим большого расхода материалов. Для снижения затрат времени и требуемых реактивов были разработаны экспресс-методы исследования кинетики осаждения полимерных растворов и формирования образцов полуволоконных мембран в контролируемых условиях. Разработанный экспресс-метод исследования кинетики осаждения полимерного раствора впервые проводился в режиме “ограниченного” слоя [1], что позволило наряду со скоростью осаждения полимерного раствора оценить пористую структуру и транспортные характеристики формируемой мембраны, а также подобрать параметры процесса формовки мембран.

Применение автоматического манипулятора позволило получить тестовые образцы полуволоконных мембран для определения их морфологии, механических, транспортных и разделительных характеристик. Применение автоматического манипулятора позволяет в 15 раз сократить время формирования экспериментальных образцов по сравнению со стандартными установками формирования полуволоконных мембран. Экономический эффект применения нового экспресс-метода заключается в снижении расходов на реактивы в 80 раз и объема воды, используемой для формирования и отмывки мембран, в 8000 раз [2].

Новые экспресс-методы были успешно отработаны на примере полиамидной кислоты (ПАК) или растворимых полиуретанимидов (ПУИ) для получения нерастворимых термостойких полиимидов (ПИ) совместно с ИВС РАН, поли-(о-аминофенилен) нафтоиленимидов (ПАНИ-О) и лестничного полифенилсилсесквиоксана (ЕТО-213) совместно с ИНЭОС РАН, а также коммерческих полимеров полифениленсульфон (ПФСФ) совместно с КБГУ имени Х.М. Бербекова.

### Список литературы:

[1] T.Anokhina, I.Borisov, et al. *Polymers*, 12 (2020) 2785.

[2] T.Anokhina, A.Raeva, S.Makaev, I.Borisov et al. *Membranes*, 11 (2021) 396.

### Благодарности

*Разработка автоматического манипулятора для получения тестовых образцов ПВ мембран выполнена в рамках проекта РНФ № 20-79-00343, применение экспресс-методов для получения нерастворимых ПИ мембран из ПУИ выполнено в рамках проекта РНФ № 22-19-00831, применение экспресс-методов для получения ПВ ультрафильтрационных ПФСФ мембран выполнено в рамках проекта РНФ № 22-19-00711.*

## НАНОКОНТЕЙНЕРЫ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК С ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫМИ БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Якиманский А.В.<sup>1</sup>, Иванов И.В.<sup>1</sup>, Краснопеева Е.Л.<sup>1</sup>, Меленевская Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
yakimansky@yahoo.com*

Методом АТРР синтезированы молекулярные щетки ПИ-прив-ПМАК и Ц-прив-ПМАК с основной полиимидной (ПИ) или целлюлозной (Ц) цепью и боковыми цепями, полиметакриловой кислоты (ПМАК).

Комплексообразование производных порфиразинов с ПИ-прив-ПМАК и Ц-прив-ПМАК приводит к формированию водорастворимых биосовместимых наночастиц, обладающих интенсивной красной люминесценцией. Показано, что эти наночастицы обеспечивают быстрое накопление цианопорфиразина в ядре и мембране опухолевых клеток (рис. 1а).

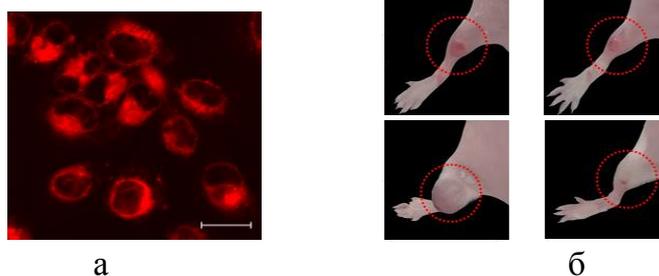


Рис. 1 - (а) Накопление комплекса цианопорфиразин/ПИ-прив-ПМАК в опухолевых клетках карциномы А-431 при инкубации 30 мин. (б) Вид опухоли в контрольной (слева) и опытной (справа) группах животных до (вверху) и через 7 суток (внизу) после внутривенного введения комплекса цианопорфиразин/Ц-прив-ПМАК опытной группе животных с последующей фотодинамической терапией (облучение красным лазером с мощностью 150 Дж/см<sup>2</sup>).

Экспериментами *in vitro* и *in vivo* продемонстрирована высокая фотодинамическая активность этих наночастиц (рис. 1б). Показано, что молекулярные щетки ПИ-графт-ПМАК и Ц-прив-ПМАК нетоксичны и служат эффективными наноконтейнерами для цианопорфиразиновых агентов фотодинамической терапии и диагностики, обеспечивающими высокую селективность доставки этих агентов в клетки опухоли.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке мегагранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (гос. контракт 14.W03.31.0022). Авторы выражают искреннюю благодарность к.х.н. Л.Г. Клапишиной (Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН) за синтез цианопорфиразинов и приготовление их комплексов с исследованными молекулярными щетками и д.б.н. И.В. Балалаевой (Институт биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Чернышевского) за проведение биологических испытаний.

## СТИМУЛЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОГЕЛИ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФЕРМЕНТНЫХ БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Пергушов Д.В., Сиголаева Л.В.

*Химический факультет*

*Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва*

*pergush@genebee.msu.ru*

Прочная и недеструктивная иммобилизация ферментов на поверхностях является необходимой для создания высокочувствительных ферментных биосенсорных систем. Среди многообразия известных к настоящему времени различных способов иммобилизации ферментов чрезвычайно перспективным представляется метод модификации сенсорной поверхности пленками стимулчувствительных полимеров. В качестве подобных полимеров значительный интерес представляют рН- и термочувствительные сополимерные микрогели на основе поли-N-изопропилакриламида, в состав которых входят катионные сомономерные звенья (диметил)аминопропилметакриламида [1-5]. В протонированном состоянии такие микрогели способны связывать большие количества противоположно заряженных ферментов, и, будучи высокогидратированными, обеспечивают при этом благоприятное микроокружение для связанных ими биомолекул, что способствует сохранению структуры и биологических функций последних. В рамках данной лекции будут рассмотрены физико-химические свойства рН- и термочувствительных катионных микрогелей в водных средах, основные закономерности их адсорбции на инертных (модельных) поверхностях, а также формирование и характеристики электрохимических биосенсоров на основе микрогель-ферментных пленок.

### **Список литературы:**

- [1] Sigolaeva L.V., Gladyr S.Yu., Gelissen A.P.H., Mergel O., Pergushov D.V., Kurochkin I.N., Plamper F.A., Richtering W. *Biomacromolecules* **15**, 3735 (2014).
- [2] Sigolaeva L.V., Mergel O., Evtushenko E.G., Gladyr S.Yu., Gelissen A.P.H., Pergushov D.V., Kurochkin I.N., Plamper F.A., Richtering W. *Langmuir* **31**, 13029 (2015).
- [3] Sigolaeva L.V., Gladyr S.Yu., Mergel O., Gelissen A.P.H., Noyong M., Simon U., Pergushov D.V., Kurochkin I.N., Plamper F.A., Richtering W. *Analytical Chemistry* **89**, 6091 (2017).
- [4] Sigolaeva L.V., Pergushov D.V., Oelmann M., Schwarz S., Brugnioni M., Kurochkin I.N., Plamper F.A., Fery A., Richtering W. *Polymers* **10**, 791 (2018).
- [5] Sigolaeva L.V., Pergushov D.V., Gladyr S.Yu., Kurochkin I.N., Richtering W. *Adv Mater Interfaces* **9**, 2200310 (2022).

### **Благодарности**

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 22-24-00424).*

## ЭЛЕКТРОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЕТКИ

Борисов О.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,*

*г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО*

*г. Санкт-Петербург*

*oleg.borisov@univ-pau.fr*

Полимерные (или полиэлектролитные) щетки формируются путем ковалентной прививки нейтральных (или заряженных) макромолекул к поверхности раздела жидкость-твердое тело. В случае, когда мономерные звенья образующих щетку цепей содержат ионогенные группы, конформации цепей щетки, а также физико-химические (адгезионные, трибологические) и биоинтерактивные свойства поверхности, модифицированной привитыми полимерами, могут изменяться в ответ на изменение ионной силы или рН раствора. Однако, время отклика полиэлектролитной щетки на изменение химического состава окружающей среды может достигать от нескольких до десятков минут. Многие приложения требуют, однако, мгновенного переключения свойств поверхности в ответ на соответствующий внешний сигнал. Электрическое напряжение, приложенное к проводящей (или полупроводящей) подложке, модифицированной привитыми полиэлектролитными цепями, может служить альтернативным внешним триггером для управления конформацией цепей и свойствами полимер-модифицированных поверхностей, поскольку время конформационного ответа щетки на переменное напряжение определяется только временем релаксации щеткообразующих цепочек. Используя численный метод самосогласованного поля, мы провели сравнение равновесных структурных свойств щеток, образуемых сильными или слабыми (рН-чувствительными) полиэлектролитами как функции приложенного электрического поля как в бессолевых, так и в солевых растворах. Было показано, что как в сильных, так и в слабых полиэлектролитных щетках наблюдается сегрегация цепей на две популяции (адсорбированные и вытянутые нормально к поверхности), если поверхность заряжена противоположно щетке. Эта сегрегация порождает сложные закономерности в зависимости толщины щеток от концентрации соли. Показано, что подстраиваемая ионизация слабых полиэлектролитов ослабляет их конформационный отклик в плане зависимости толщины щетки от амплитуды приложенного напряжения.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 21-53-10005.*

## МИКРОФАЗНОЕ РАССЛОЕНИЕ В ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТАХ

Крамаренко Е.Ю.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
физический факультет, г. Москва  
Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, г. Москва  
Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской  
академии наук, г. Москва  
kram@polly.phys.msu.ru*

Возможность микрофазного расслоения в полуразбавленном растворе слабозаряженного полиэлектролита в плохом растворителе с образованием термодинамически равновесной структуры, характеризующейся чередующимися нанодоменами с повышенной и пониженной плотностью полимера, была теоретически предсказана в работах [1,2], с тех пор это явление изучалось в различных полиэлектролитных системах. В докладе мы обсудим физический механизм стабилизации нанодоменной структуры в полиэлектролитах в сравнении с таковой в блок-сополимерах и рассмотрим особенности микрофазного расслоения в полиэлектролитных комплексах (ПЭК), образующихся в результате ассоциации противоположно и слабо заряженных полиэлектролитов, которые не смешиваются, когда они не заряжены. В настоящее время ПЭК привлекают большое внимание благодаря многообразию практических применений как в области медицины для доставки лекарств, так для создания различных функциональных покрытий и самовосстанавливающихся материалов. Будет обсуждаться фазовая диаграмма раствора противоположно заряженных полиионов в зависимости от концентрации солей и несовместимости полимеров [3]. Будут представлены теоретические результаты, полученные в рамках теории сильной сегрегации, описывающие равновесную морфологию и размеры образующихся в ПЭК наноструктур, и их сравнение с данными моделирования методом диссипативной динамики частиц (DPD) [4]. Кроме того, проанализировано влияние несовместимости, а также зарядовой асимметрии полиэлектролитных цепей на морфологию и структуру наноагрегатов ПЭК в разбавленных растворах [5].

**Список литературы:**

- [1] *Borue, V.Yu., Erukhimovich, I.Ya.* Macromolecules, **21**, 3240 (1988).
- [2] *Joanny, J.F., Leibler, L.* J. Phys. France, **51**, 545 (1990).
- [3] *Rumyantsev, A.M., Kramarenko, E.Yu., Borisov O.V.* Macromolecules, **51**, 6587 (2018).
- [4] *Rumyantsev, A.M., Gavrilov, A.A., Kramarenko, E.Yu.* Macromolecules, **52**, 7167 (2019).
- [5] *Saha, B., Gordievskaya, Yu.D., De, P., Kramarenko, E.Yu.* Macromolecules, **53**, 24, 10754 (2020).

**СЕКЦИЯ 1**  
***СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

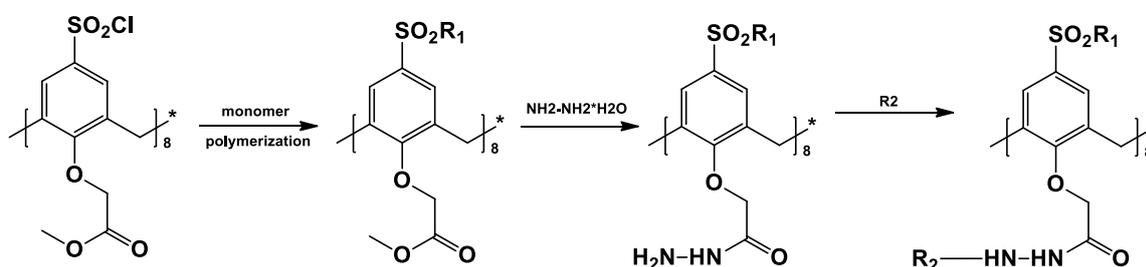
## СИНТЕЗ НОВЫХ МИКТОЛУЧЕВЫХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИОКСАЗОЛИНОВ

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

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
ndkozina@gmail.com

Поли(2-алкил-2-оксазолин)ы – амфифильные, биосовместимые и термочувствительные полимеры, представляющие интерес с точки зрения их биомедицинского применения. Полимерные мицеллы на основе поли(2-алкил-2-оксазолин)а могут использоваться для инкапсулирования гидрофобных лекарств, что позволяет достигать большей их концентрации в воде, а также повышает их растворимость и увеличивает время действия за счет контроля скорости высвобождения низкомолекулярного соединения.

В настоящей работе описан новый подход к синтезу звездообразных шестнадцатилучевых поли(2-алкил-2-оксазолин)ов с применением комбинированного метода, сочетающего в себе подходы «прививка на» и «прививка от». В данном гибридном методе синтеза используются мультифункциональные центры ветвления, содержащие ортогональный набор функциональных групп, первая часть которых служит для инициирования полимеризации, а вторая часть – для сочетания с предварительно синтезированными полимерными лучами по схеме “прививка на”. В качестве мультифункционального агента в работе использовали каликс[8]арен с сульфонилхлоридными группами в верхнем ободе и гидразидными функциональными группами в нижнем ободе. Структура синтезированных полимеров была подтверждена методом ЯМР спектроскопии. Определена критическая концентрация мицеллообразования и показана возможность образования водорастворимых полимерных комплексов с гидрофобными органическими соединениями на примере куркумина.



$\text{R}_1, \text{R}_2 = \text{poly}(2\text{-ethyl-2-oxazoline}), \text{poly}(2\text{-isopropyl-2-oxazoline})$

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКОНТРОЛИРУЕМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТАКРИЛАТОВ В ПРИСУТСТВИИ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОТИАЗИНА В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Князева Н.А., Буторин А.В., Гришин И.Д.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, химический факультет,  
г. Нижний Новгород  
knyaseva2012@yandex.ru

Перспективным направлением получения полимерных структур с заданными молекулярно-массовыми характеристиками является контролируемый синтез макромолекул по механизму с переносом атома в присутствии органических катализаторов, не содержащих в своем составе металлов. Такой метод в иностранной литературе получил название Metal-Free ATRP.

В работе исследованы закономерности протекания полимеризации метакриловых мономеров в присутствии 10-фенилфенотиазина (**РТН**) и 4-(10H-фенотиазин-10-ил)-N,N-дифениланилина (**РДРА**). Процесс проводили в запаянных ампулах при облучении источником с длиной волны 365 нм. Показано, что при использовании бромсодержащих инициаторов процесс полимеризации сопровождается равномерным ростом молекулярной массы с увеличением конверсии, а коэффициенты полидисперсности соответствуют значениям, характерным для псевдоживой радикальной полимеризации. Также была исследована возможность проведения полимеризации под действием бифункционального инициатора этилен-бис(2-бromoизобутирата) (2F-BiB) (рис. 1).

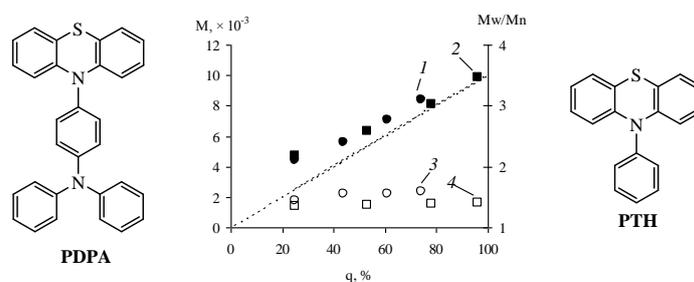


Рис. 1 - Зависимости молекулярной массы ( $M_n$ , 1,2) и коэффициентов полидисперсности ( $M_w/M_n$ , 3,4) от конверсии при полимеризации MMA в присутствии **РДРА** (1,3) и **РТН** (2,4), [MMA]:[2F-BiB]:[катализатор] = 100 : 1 : 0,1.

Реализация предполагаемого механизма подтверждается наличием на концах «спящих» полимерных цепей атомов галогена, зафиксированных методом времяпролетной МАЛДИ масс-спектрометрии, а также экспериментами по проведению пост-полимеризации и блок-сополимеризации.

## Благодарности

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

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕХАНИЗМА ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ ПО СХЕМЕ $B_n+AB$

Солдатова А.Е.<sup>1</sup>, Цегельская А.Ю.<sup>1</sup>, Абрамов И.Г.<sup>2</sup>, Шахнес А.Х.<sup>3</sup>,  
Серушкина О.В.<sup>3</sup>, Херберг А.<sup>4</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль*

<sup>3</sup>*Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского, г. Москва*

<sup>4</sup>*Университет Падерборна, г. Падерборн  
soldatova.anastasia92@gmail.com*

Настоящая работа посвящена изучению механизма поликонденсации по схеме  $B_n+AB$  на примере полиимидов, где  $AB$  – бифункциональный мономер с разноименными функциональными группами, а  $B_n$  – инициатор или ядро. При этом, если  $n = 1$  или  $2$  образуются линейные макромолекулы и это простейший вариант такого процесса, тогда как при  $n \geq 3$  образуются макромолекулы звездообразной топологии. Согласно литературным данным, поликонденсация по схеме  $B_n+AB$  ранее изучалась на примере полиамидов [1,2]. Показано, что при поликонденсации могут протекать несколько типов реакций: непосредственно по схеме  $B_n+AB$  (образование растущего центра), автополиконденсация мономера  $AB$  и, наконец, присоединение олигомеров, образующихся в результате автополиконденсации мономера  $AB$  к растущему центру. Однако в предыдущих исследованиях не рассматривалась возможная реакция циклизации мономеров  $AB$ , показанная в работах Крихельдорфа [3].

В данной работе был синтезирован ряд олигоимидов, как линейного строения - моно- и ди-лучами, так и звездообразного - три-, тетра-, шестилучевые звезды при одном и том же мольном соотношении мономеров  $B_n$  (разные амины): $AB$  (3-аминофеноксифталевая кислота (АФФК)) 1:40. Все полученные олигоимиды исследовали методами ИК, <sup>1</sup>H ЯМР, а также методом ГПХ с тройным детектированием (RI, MALLS и вискозиметрия). Процесс циклизации мономера АФФК и структура олигоимидов более подробно исследованы с помощью электрораспылительной ионизации (ESI) и масс-спектрометрии MALDI ToF.

### Список литературы:

- [1] Yan D., Zhou Z., Jiang H., Wang G. Macromolecular theory and simulations, **7(1)**, 13-18 (1998).  
[2] Yuan C.M., Di Silvestro G., Speroni F., Guaita C., Zhang H. Macromolecular Chemistry and Physics, **202(10)**, 2086-2092 (2001).  
[3] Kricheldorf H.R. Macromolecular rapid communications, **28(18-19)**, 1839-1870, (2007).

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 20-53-04022.*

# ОДНОКОМПОНЕНТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НОРБОРНЕНОВ НА ОСНОВЕ КАТИОННЫХ (NHC)Pd КОМПЛЕКСОВ С АЛЛИЛЬНЫМИ ЛИГАНДАМИ

Меденцева Е.И.<sup>1</sup>, Хрычикова А.П.<sup>1,2</sup>, Бермешева Е.В.<sup>1</sup>, Топчий М.А.<sup>1</sup>, Асаченко А.Ф.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, ВХК РАН,  
г. Москва  
e.med@ips.ac.ru

Норборнены – это уникальные соединения, которые могут полимеризоваться по нескольким механизмам, приводя к образованию полимеров различного строения и, как следствие, обладающих разными свойствами. Целью многих исследований в этом направлении является создание катализаторов для аддитивной полимеризации, аналогичных катализаторам Граббса для метатезисной, то есть высокоактивных, однокомпонентных, толерантных к различным заместителям и устойчивых на воздухе.

Pd-комплексы, несущие N-гетероциклические карбеновые лиганды, проявляют высокую каталитическую активность в аддитивной полимеризации [1]. Изучение взаимодействия этих комплексов с сокатализаторами (схема 1) позволило впервые получить однокомпонентные катализаторы для аддитивной полимеризации, которые устойчивы на воздухе, не требуют абсолютных растворителей, толерантны к функциональным группам мономеров и способны вести живую полимеризацию.

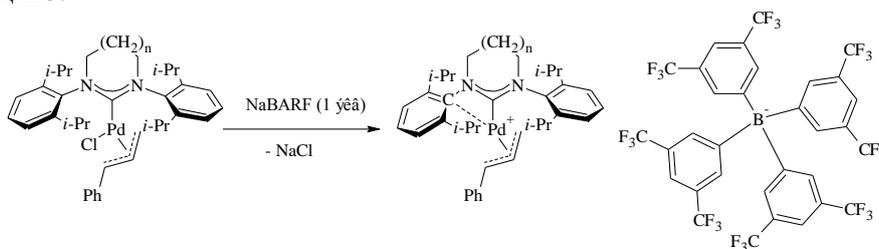


Схема 1.

В работе будут представлены результаты по изучению каталитической активности синтезированных комплексов аддитивной полимеризации модельного мономера 5-этилиден 2- норборнен.

## Список литературы:

[1] *Bermesheva E.V., Wozniak A.L., Andreyanov A.F., Karpov G.O., Nechaev M.S., Asachenko A.F., Topchiy M.A., Melnikova E.K., Nelyubina Y.V., Griбанov P.S., Bermeshev M.V. ACS catalysis* **10** (3), 1663 (2020).

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФ № 21-73-20246.

## СИНТЕЗ НАНОСЛОЕВ ПОЛИАКРИЛАМИДА НА ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНОГО ГРАФТИНГА

Авдеев М.М.<sup>1,3</sup>, Горшкова Ю.Е.<sup>3</sup>, Маслаков К.И.<sup>2</sup>, Дворяк С.В.<sup>2</sup>, Шибаетов А.В.<sup>1</sup>,  
Филиппова О.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>3</sup>Объединённый Институт Ядерных Исследований, г. Дубна

avdeev@polly.phys.msu.ru

Полимерные слои на поверхностях применяются в качестве лубрикантов [1], для исследований одиночных молекул [2] и др. Для создания таких слоев используются методы “grafting to” и “grafting through”, когда поверхность покрывают линейной полимерной щёткой, но у данных методов высаживания есть проблемы, осложняющие их универсальное применение. В этой работе мы предлагаем исследовать альтернативный метод подготовки поверхности, так называемый “grafting through”: сополимеризация мономеров акриламида и TMSPPMA (3-(триметоксисилил)пропилметакрилата), химически связанного с поверхностью. Предполагается, что два типа мономеров в равной степени участвуют в радикальной полимеризации, в результате чего к поверхности SiO<sub>2</sub> прикрепляется нанослой переплетенной полимерной сетки (сополимер полиакриламида). Изменяя концентрации смеси и внешние условия, можно управлять структурой этой пассивированной пленки. В эксперименте использовались фиксированные концентрации компонентов, но варьировалась температура синтеза полимера, т. к. от этого зависит длина цепи продукта. Задачей нашего исследования является анализ структуры, качества полимерной пленки, её химического состава и отмываемости. Методом рентгеновской рефлектометрии (РР) получены профили плотности длин рассеяния высушенных полимерных пленок для ряда образцов (оценена толщина слоёв). С помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) проводилось исследование поверхности образцов. Методом динамического рассеяния света (ДСР) получены гидродинамические радиусы макромолекул в объеме, соответствующие цепочкам, прикрепленным к поверхности кремния и сопоставлены данные РР и ДСР (получен скейлинг полимерной щётки). Состав полимерной щетки подтвержден методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). На следующем этапе планируется исследовать набухшую полимерную пленку в воде методом нейтронной рефлектометрии, так как наличие полимерной щетки может вызвать изменение кривой РР [3].

### Список литературы:

[1] Zhang J. et al. RSC Adv. **6**, 21961 (2016)

[2] Gidi Y. et al. ACS Applied Materials & Interfaces **10**, 39505 (2018)

[3] Artykulnyi O.P. et al. Nucl. Phys. At. Energy **22**, 149 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-04-60302).  
Измерения XPS предоставлены НИЦ КП "Нанохимия и атмосферная химия".

**КОНТРОЛИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ  
НА ОСНОВЕ ФТОР(МЕТ)АКРИЛАТОВ**Григорьева А.О.<sup>1</sup>, Зайцев С.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород  
alexh.grigoreva@gmail.com*

В настоящее время большое число исследований проводится в области получения и модификации фторсодержащих полимеров различными методами. Удобной техникой синтеза сополимеров различного строения, в т.ч. амфифильных и функциональных полимеров со сложной архитектурой, являются методы контролируемой радикальной полимеризации, протекающей по механизму обратимой деактивации цепи [1]. Содержание фтора и его распределение вдоль цепи определяют свойства таких материалов [2].

Целью данной работы является исследование закономерностей контролируемого синтеза амфифильных сополимеров различной микроструктуры на основе фторированных (мет)акрилатов методом ОПЦ полимеризации.

Исследованы закономерности гомополимеризации 2,2,3,3,4,4,5,5-октафторпентакрилата (ОФПА) и 1,1,1,3,3,3-гексафторизопропилакрилата (ГФИПА) в присутствии дибензилтретиокарбоната (БТК) и 2-циано-2-пропилдодецилтретиокарбоната (ЦПДТ) в качестве агента обратимой передачи цепи. Исследованы молекулярно-массовые характеристики полученных полимеров. Структура подтверждена методами ЯМР и MALDI-TOF MS.

Изучены особенности сополимеризация ОФПА и ГФИПА с акриловой кислотой, трет-бутилакрилатом, N-винилпирролидоном, глицидилметакрилатом в присутствии низкомолекулярного (БТК или ЦПДТ) и высокомолекулярных ОПЦ агентов. Получены кривые состава сополимеров, рассчитаны относительные активности мономеров различными методами. Показаны условия получения статистических и градиентных сополимеров, синтезированы узкодисперсные амфифильные блок-сополимеры ОФПА, ГФИПА и ТФПМА с различной природой гидрофильных фрагментов.

**Список литературы:**

- [1] *Barner-Kowollik C. Handbook of RAFT Polymerization / C. Barner-Kowollik. – WILEY-VCH (2008).*  
[2] *Bruno A. Macromolecules 10163–10184 (2010).*

# АКТИВИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ВОДЫ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ КАТИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ИЗОБУТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСОВ ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Богдан Н.С., Шиман Д.И., Костюк С.В., Гапоник Л.В.

Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», г. Минск  
 bogdan.nikolaj59583@gmail.com

Традиционно в качестве кислоты Льюиса [LA] для проведения контролируемой катионной полимеризации изобутилена используется  $TiCl_4$  [1, 2], обладающий низкой устойчивостью к гидролизу и слабой каталитической активностью. В данной работе была исследована контролируемая катионная полимеризация изобутилена на иницирующей системе состава 1,4-бис-(2-хлор-пропан-2-ил)бензол/ $FeCl_3 \times 1,4^iPrOH$ , обладающей высокой каталитической активностью. Проведено сравнение влияния воды на полимеризацию изобутилена в присутствии  $FeCl_3 \times 1,4^iPrOH$  и  $TiCl_4$  (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние содержания воды на катионную полимеризацию ИБ с иницирующей системой состава DiCumCl/LA (LA= $FeCl_3 \times 1,4^iPrOH$  или  $TiCl_4$ )

№	[H <sub>2</sub> O]/[LA]	LA	Время, мин	Конв. (%)	M <sub>n</sub> , теор (г·моль <sup>-1</sup> )	M <sub>n</sub> (г·моль <sup>-1</sup> )	M <sub>w</sub> /M <sub>n</sub>	F <sub>5</sub> (ω), %	Концевые группы, %	
									Олеф.	ПНБ-Cl
1	10	$FeCl_3$	2	62	4800	5250	1,19	100	5	95
2		$TiCl_4$	2	49	3800	5900	7,00	92	0	100
3 <sup>a</sup>		$TiCl_4$	2	36	2800	3250	2,30	98	0	100
4	25	$FeCl_3$	10	100	7800	8070	1,19	100	0	100
5		$TiCl_4$	10	65	5070	6350	10,30	94	0	100
6	65	$FeCl_3$	10	75	5600	5380	1,20	100	12	88
7		$TiCl_4$	10	38	3000	3160	11,40	95	0	100

Условия: [ИБ] = 1,2 М; [дикумилхлорид] = 9 мМ; [LA] = 14 мМ; Т: -80 °С; CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/n-гексан 40:60.

<sup>a</sup> [2,6-лютидин] = 1,4 мМ

Показано активирующее действие примесной воды на полимеризацию при использовании  $FeCl_3 \times 1,4^iPrOH$ . Упрощенный механизм активации представлен на рисунке 1.

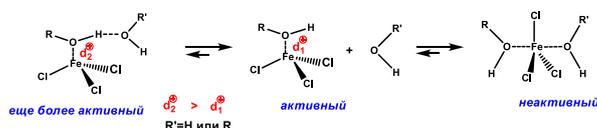


Рис. 1 – Упрощенная схема активирующего действия воды.

В результате исследований предложены оптимальные условия для синтеза четко определенных дифункциональных полиизобутиленов в диапазоне молекулярных масс от 1000 до 20000 г·моль<sup>-1</sup>.

## Список литературы:

[1] Morgan D.L., Storey R.F. *Macromolecules* **42** (18), 6844 (2009).

[2] Morgan D.L., Martinez-Castro N., Storey R.F. *Macromolecules* **43** (21) (2010).

## Благодарности

Авторы выражают благодарность государственной программе научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» (проект 2.1.01.03).

## ОДНОСТАДИЙНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЙЗАМЕЩЕННЫХ НОРБОРНЕНОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЫСОКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН

Гусева М.А.<sup>1</sup>, Алентьев Д.А.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>, Бермешева Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового  
Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза А.В. Топчиева  
г. Москва  
m.guseva@ips.ac.ru

Полинорборнены являются перспективным классом полимеров для макромолекулярного дизайна, поскольку норборнены обладают широкими синтетическими возможностями и высокой движущей силой полимеризации<sup>1</sup>. Ранее было показано, что свойства кремнийзамещенных полинорборненов зависят от ориентации и природы бокового заместителя норборненового звена<sup>2</sup>. Поэтому актуальной задачей стал поиск простых и эффективных методов синтеза норборненов с заданной ориентацией заместителя. Существует несколько традиционных способов получения таких мономеров. Например, реакция Дильса-Альдера, [2+2+2]-циклоприсоединение. Однако, они обладают такими недостатками, как образование *эндо*-изомеров или многоступенчатый синтез, который включает в себя синтез квадрициклана и использование реактивов Гриньяра.

В настоящей работе мы предложили одностадийный селективный метод получения *экзо*-кремнийзамещенных норборненов, основанный на реакции гидросилилирования норборнадиена-2,5. Синтезированные мономеры проявили высокую активность в метатезисной и аддитивной полимеризациях<sup>3</sup> (рис. 1).

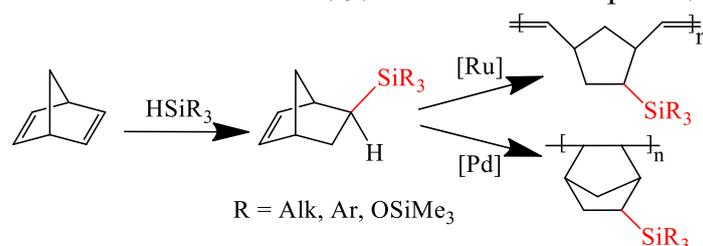


Рис. 1 – Синтез и полимеризация кремнийзамещенных норборненов.

### Список литературы:

- [1] Finkelshtein E, Gringolts M, Bermeshev M, Chapala P. Polynorbornenes. In: Yampolskii Y, Finkelshtein E, eds. Membrane Materials for Gas and Vapor Separation. Wiley 143-221 (2017).
- [2] Alentiev D., Bermeshev M., Starannikova L., et al. J Polym Sci Part A Polym Chem. **56**(12), 1234-1248 (2018).
- [3] Guseva M., Alentiev D., Bakhtin D., et al. J. Memb. Sci. **638** (2021).

## ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ D,L-ЛАКТИДА В ПРИСУТСТВИИ β-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦИНКА(II)

Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Матвиенко В.Д.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1,3</sup>, Степанова М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
anikiforov71@gmail.com

В настоящее время наиболее широко используемым промышленным катализатором полимеризации лактида (ЛА) является октоат олова(II), что обусловлено дешевизной, простотой в применении и высокой эффективностью. Однако, его недостатками являются высокая токсичность, затрудненный контроль над молекулярно-массовыми характеристиками получаемого полилактида (ПЛА), а также сложность удаления из массы полимера, что ограничивает его применение при получении ПЛА для биомедицинских целей.

В данной работе исследована каталитическая активность в реакции полимеризации с раскрытием цикла D,L-лактида ряда «чистых» и смешаннолигандных β-дикетонатных комплексов цинка(II), содержащих N-донорные лиганды пиридинового и пиразольного ряда. Для проведения исследования были использованы уже известные, но не изученные в данном ключе, и новые β-дикетонатные комплексы цинка. Структуры новых комплексов были подтверждены методами рентгеноструктурного анализа, ИК- и <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии. Реакция полимеризации ЛА проводилась в расплаве мономера и атмосфере Ar с различными соотношениями мономер/катализатор ([ЛА]/[Zn]), с/без введением инициатора - бензилового спирта (BnOH). Молекулярные массы ПЛА и конверсии мономера определялись методами <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии и гель-проникающей хроматографии. Все исследованные соединения продемонстрировали высокую каталитическую активность независимо от наличия в реакционной системе BnOH. При соотношении [ЛА]/[Zn] = 250 в течение 24 ч достигалась практически полная конверсия ЛА. Наибольшую активность проявили «чистые» β-дикетонатные комплексы, однако во всех случаях получаемые образцы ПЛА характеризовались значениями дисперсности (D) в пределах 1.6÷1.8. В случае применения в качестве катализатора пиразолсодержащего комплекса цинка было установлено, что при проведении полимеризации с соотношением [ЛА]/[Zn]/[BnOH] = 250/1/1 происходит снижение дисперсности получаемого ПЛА при сохранении значений молекулярных масс, приближенных к теоретическим. Методами <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии проведено исследование концевых групп ПЛА, полученного без и с добавлением инициатора, на основании чего предложены пути реакции полимеризации для обоих случаев в присутствии β-дикетонатных комплексов цинка(II).

### Благодарности

Рентгеноструктурный анализ проведен в РЦ РДМИ СПбГУ в рамках проекта Министерства образования и науки № 075-15-2021-637.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ: ХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТОЛЩИНА ОБРАБОТАННОГО СЛОЯ

Зиновьев А.В.<sup>1</sup>, Пискарев М.С.<sup>1</sup>, Гильман А.Б.<sup>1</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>, Скрылева Е.А.<sup>2</sup>,  
Сенатулин Б.Р.<sup>2</sup>, Гатин А.К.<sup>3</sup>, Сырцова Д.А.<sup>4</sup>, Тепляков В.В.<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС,  
г. Москва*

<sup>3</sup>*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова  
Российской академии наук, г. Москва*

<sup>4</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева  
Российской академии наук, г. Москва  
zinovyev@ispm.ru*

Нами было показано, что при воздействии на пленку поливинилтриметилсилана (ПВТМС) разряда постоянного тока пониженного давления (рабочий газ – воздух) наблюдается существенное увеличение коэффициента газоразделения по паре O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> от  $\alpha=3.8$  до  $\alpha=10.0$  [1]. Такие результаты связаны, по-видимому, с изменениями химической структуры и морфологии поверхности полимера. Проведенные методом рентгенофотозлектронной спектроскопии (РФЭС) исследования химического состава модифицированных пленок показали существенное увеличение количества кислородсодержащих групп на поверхности и превращение большей части кремния в частично окисленное состояние SiO<sub>x</sub>. Методом послойного травления пленок ПВТМС кластерной пушкой Ar+2500 с параллельным снятием спектров РФЭС стравливаемых слоёв была определена толщина модифицированного слоя полимера, составляющая 40-50 нм и показано, что приповерхностный слой имеет градиентную структуру по химическому строению и составу [2]. Изучение морфологии поверхности пленок методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) и сканирующей электронной микроскопии показало значительное увеличение шероховатости и изменения глобулярной структуры в результате модифицирования.

### Список литературы:

[1] Zinoviev A.V., Piskarev M.S., Skryleva E.A., Senatulin B.R., Gatin A.K., Gilman A.B., Syrtsova D.A., Teplyakov V.V., Kuznetsov A.A. High Energy Chemistry **55**, 407-413 (2021).

[2] Piskarev M., Skryleva E., Gilman A., Senatulin B., Zinovev A., Syrtsova D., Teplyakov V., Kuznetsov A. Coatings **11**, 1317 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ номер темы FFSM-2021-0006 (модифицирование в плазме) и гранта РФФИ (№20-08-00655). Исследования методом РФЭС проведены на оборудовании центра коллективного пользования «Материаловедение и металлургия» НИТУ МИСиС.

## МОДИФИКАЦИЯ АДДИТИВНОГО ПОЛИ(5-ВИНИЛ-2-НОРБОРНЕНА)

Возняк А.И., Бермешева Е.В., Ржевский С.А., Асаченко А.Ф., Бермешев М.В.

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

5-Винил-2-норборнен (VNB) является легко доступным продуктом нефтехимического синтеза. До недавнего времени его аддитивная полимеризация представляла собой сложную задачу, так как наличие экзоциклической двойной связи приводило к конкурирующей координации с каталитическим центром. Ранее нами было показано [1], что каталитические системы на основе палладиевых комплексов с N-гетероциклическими карбеновыми лигандами (NHC) способны полимеризовать VNB по аддитивной схеме селективно по эндоциклической двойной связи, приводя к высокомолекулярным продуктам. Это открыло окно возможностей для получения аддитивных полинорборненов с различными функциональными заместителями путем модификации PVNB (Рис. 1) [2].

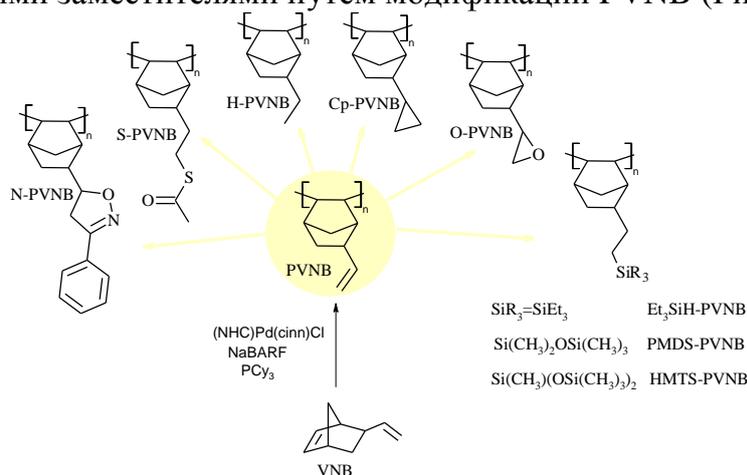


Рис. 1 – Получение и модификация PVNB.

В настоящей работе найдены оптимальные условия для проведения различных модификаций PVNB с целью введения функциональных групп: гидрирование, циклопропанирование, эксидирование, тиоацетилирование, гидросилилирование, 1,3-диполярное циклоприсоединение N-оксидов бензонитрила. Для синтезированных полимеров изучены газотранспортные и диэлектрические свойства. Установлены ценные взаимосвязи между строением полимера и его свойствами.

### Список литературы:

- [1] *Bermesheva E.V., Wozniak A.I., Andreyanov F.A. et al. ACS catalysis. 10 (3), 1663 (2020).*  
 [2] *Wozniak A.I., Bermesheva E.V., Andreyanov F.A. et al. Reactive and Functional Polymers. 149, 104513 (2020).*

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №21-73-20246.*

## ГИДРОФИЛЬНЫЙ УЗКОДИСПЕРСНЫЙ ПОЛИ-1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛ КАК ОСНОВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОБАЛЬТОСОДЕРЖАЩИХ НАНОКОМПОЗИТОВ

Семенова Т.А., Емельянов А.И., Поздняков А.С.

*ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск  
semjenova@irioch.irk.ru*

Функциональные металлополимерные наноконпозиты являются основой многих медико-биологических препаратов с антимикробной, противовирусной, противоопухолевой, противогрибковой активностью, обладающих иммуномодулирующим, радиозащитным действием и т.д. Свойства таких материалов определяются молекулярной массой и функциональностью стабилизирующей матрицы, а также параметрами наноразмерных гетероструктур, что определяет возрастающий интерес к направленному синтезу подобных гибридных материалов. Высокий научный интерес в качестве стабилизирующих полимерных матриц представляют поли-*N*-винилазолы, имеющие в составе гетероциклов атомы азота способные к различного рода взаимодействиям, в том числе эффективному взаимодействию с поверхностью металлических наночастиц. С использованием методов радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи по механизму присоединения–фрагментации синтезированы гомополимеры 1-винил-1,2,4-триазола с молекулярной массой в диапазоне от 11 до 83 кДа и полидисперсностью до 1.16. В качестве агентов передачи цепи исследованы дитиокарбаматы, дитиокарбонаты и тритиокарбонаты. Дитиокарбаматы – цианометилметил(фенил)дитиокарбамат и цианометилметил(пиридин-4-ил)дитиокарбамат оказались наиболее эффективными агентами передачи цепи. Изучение ОПЦ-полимеризации при различных соотношениях мономера и агента передачи цепи свидетельствует о линейной зависимости молекулярной массы, что подтверждает контролируемый характер полимеризации 1-винил-1,2,4-триазола. С использованием различных методов физико-химического анализа изучены структура, состав и физико-химические свойства синтезированных гомополимеров.

Синтезированы металлосодержащие полимерные наноконпозиты с наночастицами кобальта на основе поли-1-винил-1,2,4-триазола с содержанием металла от 2.0 до 12.3%. По данным просвечивающей электронной микроскопии размеры наночастиц составляют от 1 до 18 нм и зависят от исходного соотношения стабилизирующего полимера и ионной формы металла. Проведенные исследования стабильности наноконпозитов в водной среде свидетельствуют об эффективной стабилизации наночастиц кобальта.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-00259).*

## СИНТЕЗ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИЦИКЛООКТЕНА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

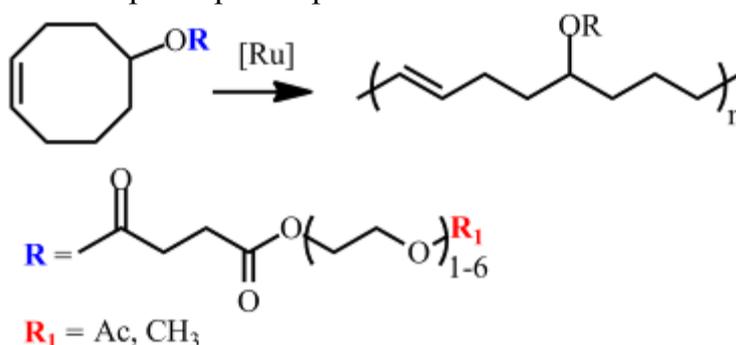
Аджиева О.А.<sup>1</sup>, Денисова Ю.И.<sup>1</sup>, Финько А.В.<sup>1,2</sup>, Кудрявцев Я.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
adzhieva@ips.ac.ru

Важной задачей полимерной химии последнего десятилетия является поиск новых методов постполимеризационной модификации полимеров, позволяющих улучшать потребительские свойства полимеров и материалов на их основе, такие как адгезия, ударная вязкость, совместимость, способность к самоорганизации и т.д. Полимеры класса полиэтиленгликоля (ПЭГ) могут обладать гидрофильными или амфифильными свойствами, что является необходимым для многих областей применения. Такой заместитель может улучшить смачиваемость полимеров, их окрашиваемость, адгезию и перерабатываемость. В то же время метатезисный полиоктенамер (ПЦО) представляет собой гидрофобный ненасыщенный промышленный полимер, который можно подвергать различным модификациям. Тем не менее, введение объемных заместителей в ПЦО и его мономер сильно затруднено [1, 2]. Таким образом, функционализация ПЦО является актуальной задачей современной химии полимеров.

В настоящей работе были синтезированы новые мономеры со сложноэфирными группами, а на их основе получены привитые сополимеры ПЦО и ЭГ/ПЭГ с разным строением цепи. Сополимеры были охарактеризованы, их поверхностные свойства изучены методом сидячей капли. Помимо этого начаты исследования самоорганизации полимеров в растворах.



### Список литературы:

[1] Denisova Y.I., Roenko A.V., Adzhieva O.A., Gringolts M.L., Shandryuk G.A., Peregudov A.S., Finkelshtein E.S., Kudryavtsev Y.V. *Polym. Chem.* **11**, 7063 (2020).

[2] Gringolts M.L., Denisova Y.I., Finkelshtein E.Sh., Kudryavtsev Y.V. *Beilsh. J. Org. Chem.* **15**, 218 (2019).

### Благодарности

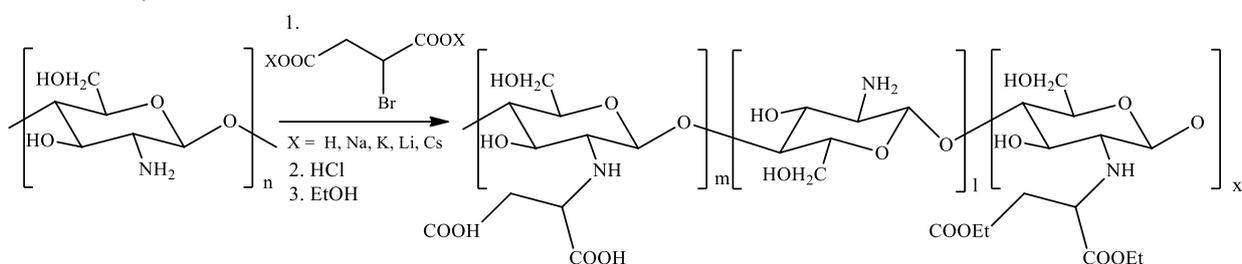
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-23-00640).

## СИНТЕЗ N-(1,2-ДИКАРБОКСИЭТИЛ)ХИТОЗАНА

Веретенникова Е.А., Пестов А.В.

Институт органического синтеза УрО РАН,  
г. Екатеринбург  
lizaveret@yandex.ru

Биополимер хитозан обладает неселективными адсорбционными свойствами по отношению ко многим металлам за исключением щелочных и щелочноземельных металлов [1]. При введении карбоксильных групп повышается гидрофильность полимера и улучшается комплексообразующая способность за счет образования хелатных комплексов с ионами переходных металлов. В данной работе предпринята попытка модификации хитозана 2-бромянтарной кислотой и ее солями щелочных металлов.



Синтез N-(1,2-дикарбоксиэтил)хитозана осуществляли по реакции нуклеофильного замещения брома в 2-бромянтарной кислоте и ее динатриевой, дикалиевой, дилитиевой, дицезиевой солей хитозаном при 70°C в условиях полимераналогичных превращений «синтез в геле». Установлено, что с 2-бромянтарной кислотой функционализация хитозана не происходит. Однако с динатриевой солью 2-бромянтарной кислоты степень функционализации возрастает с 0% до 35%. Степень функционализации практически не зависит от мольного соотношения хитозана и динатриевой соли 2-бромянтарной кислоты, также практически не зависит от концентрации хитозана. Но в присутствии основания гидроксида натрия степень функционализации можно повысить до 47%. С целью характеристики хелатирующей способности N-(1,2-дикарбоксиэтил)хитозана изучили сорбционные свойства данного полимера, сшитого эпихлоргидрином, со степенью модификации 35 и 47% по отношению к ионам  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ . Установлено, что данные сшитые полимеры обладают высокой сорбционной способностью. Общая статическая обменная емкость при pH 6.5 в аммиачно-ацетатном буферном растворе составляет 2 ммоль/г. При этом с увеличением степени модификации хитозана емкость практически не изменяется, но увеличивается селективность сорбции Cu(II) и Ni(II).

**Список литературы:**

[1] *Guibal E. Separation and Purification Technology.* **38**, 43-47 (2004).

## КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ КАРБАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ МОНОМЕРОВ СТИРОЛЬНОГО ТИПА

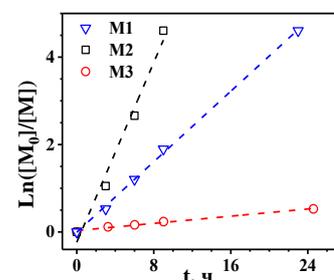
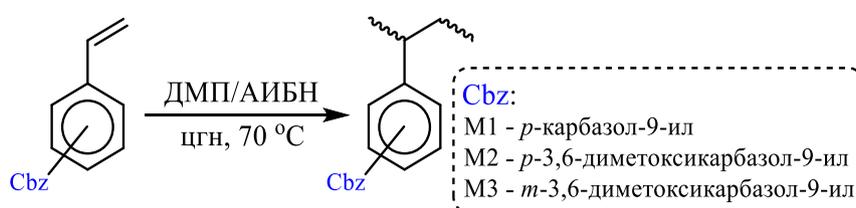
Белоусов Г.К.<sup>1,2</sup>, Вайтгусёнок А.А.<sup>1,2</sup>, Костюк С.В.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского  
государственного университета, Минск, Беларусь  
george.vusau@gmail.com

На сегодняшний день карбазолсодержащие полимеры благодаря комплексу своих физико-химических свойств находят широкое применение в различных направлениях науки и техники, главным из которых является светодиодная промышленность [1]. Однако коммерчески доступные карбазолсодержащие полимеры не лишены некоторых недостатков, среди которых склонность к образованию эксимеров и недостаточно высокое значение энергии высшей занятой молекулярной орбитали, что сильно понижает эффективность органических светодиодов, создаваемых на их основе.

В ходе данной работы синтезирован ряд карбазолсодержащих мономеров стирольного типа (M1-M3), а также предложена эффективная иницирующая система для их контролируемой RAFT-полимеризации в циклогексаноне (ЦГН) при 70 °С, состоящая из 2-(додецилтиокарбонатиоилтио)-2-метилпропионовой кислоты (ДМП) и 2,2'-азобис-(изобутиронитрила) (АИБН).



Для каждого мономера была изучена кинетика полимеризации, а также зависимость  $M_n$  – конверсия мономера при различных соотношениях  $[M]_0/[I]_0 = 40, 100$  и  $500$ . В результате были получены полимеры в диапазоне молекулярных масс от  $3\ 000$  до  $36\ 000$  г/моль и умеренным молекулярно-массовым распределением ( $M_w/M_n < 2,0$ ). На основе полученных полимеров была изготовлена серия органических светодиодов, некоторые из которых показали более высокие фотофизические характеристики ( $EQE = 10,6\%$ ) по сравнению с устройствами, изготовленными на основе коммерческих аналогов.

### Список литературы:

[1] *Grazulevicius J.V., Strohrieglb P., Pielichowski J., Pielichowski K.* Prog. Polym. Sci. **28** (9), 1297-1353 (2003).

### Благодарности

Авторы благодарят ГКНТ Беларуси (проект ГКНТ Беларусь-Корея, код проекта X21КОРГ-004) за финансовую поддержку.

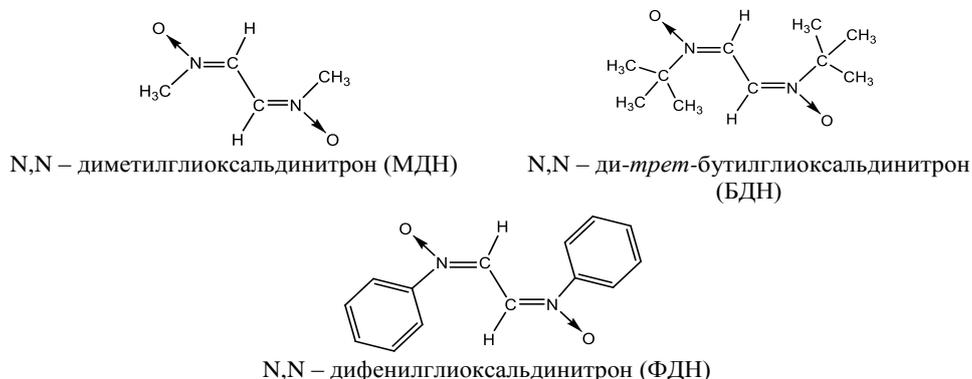
## ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АЛКОКСИАМИНОВ В ПРИСУТСТВИИ ДИНИТРОНОВ ГЛИОКСАЛЕВОГО РЯДА НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ИНИЦИИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Шоипова Ф.Х., Алыева А.Б., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

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

Развитие доступных методов функционализации полимерных материалов путем использования контролируемой радикальной полимеризации и полимераналогичных превращений – актуальное направление современной синтетической химии полимеров. Нами разработаны две методики получения высокомолекулярных алкоксиаминов (ВАА) с участием акцепторов свободных радикалов – сопряженных динитронов, представленных на схеме 1. Синтез полимеров проводили одностадийно в режиме обратимого ингибирования (Nitroxide Mediated Radical Polymerization – NMP) [1] и в две стадии путем реакций сочетания бромированных макромолекул в присутствии спиновых ловушек (Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling – RTA-ATRC) [2].

Схема 1



Установлено, что двухстадийная технология *ex-situ* (RTA-ATRC) более предпочтительна в плане получения симметричных ВАА с заданной молекулярной массой и низкими значениями полидисперсности (1.20-1.70) в сравнении с одностадийным подходом *in situ* (NMP). На примерах пост- и блок-сополимеризации показана возможность дальнейшей функционализации полистирола, содержащего в середине цепи алкоксиаминовую группу с лабильной связью >C–ON<.

### Список литературы:

- [1] Gimes D. UK, The Royal Society of Chemistry (2016).  
 [2] Andrew F. Voter, Eric S. Tillman, Peter M. Findeis, Scott C. Radzinski. ACS Macro Lett. **1**, 1066 (2012).

## СИСТЕМЫ ТРИБУТИЛБОРАН/П-ХИНОН В РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА: ОБРАТИМОЕ И НЕОБРАТИМОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ

Лудин Д.В.<sup>1</sup>, Илларионова Н.В.<sup>2</sup>, Бобрина Е.В.<sup>2</sup>, Зайцев С.Д.<sup>2</sup>, Федюшкин И.Л.<sup>1</sup>

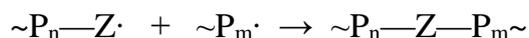
<sup>1</sup>Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина,  
Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний  
Новгород, Россия  
dymass@rambler.ru

Настоящая работа посвящена изучению кинетики и механизма радикальной полимеризации стирола в присутствии триалкилборанов (триэтилборана и трибутилборана) и п-хинонов (2,3-диметилбензохинон-1,4, нафтохинон-1,4, дуροхинон, 2,5-ди-трет-бутилбензохинон-1,4, менадион). Как известно, п-хиноны теряют свои ингибирующие способности в присутствии триалкилборанов вследствие протекания реакции S<sub>N</sub>2-замещения у атома бора. В этом случае триалкилбораны действуют как агенты передачи цепи. Образовавшиеся макромолекулы с концевой арилоксиборановой группой действуют как медиаторы роста цепи:



По данным MALDI-TOF MS, на начальных степенях превращения реализуется только один способ обрыва цепи. Концевые группы соответствуют “живым” макромолекулам, способным к обратной диссоциации по приведённой выше реакции. Эта реакция соответствует обратимому ингибированию (RDRP). Полимеризация до глубоких степеней превращений характеризуется уменьшением скорости обратно пропорциональным константе скорости ингибирования п-хинона. Установлено, что уже на умеренных конверсиях имеет место необратимое ингибирование по схеме:



Полистирол, полученный при начальной и глубокой конверсиях, исследовали в процессе пост-полимеризации. Показано, что независимо от природы п-хинона полимеры глубокой конверсии способны реиницировать полимеризацию, однако молекулярно-массовое распределение продуктов имеет бимодальный характер. Этот факт связан с наличием “мёртвых” макромолекул, образующихся в результате рекомбинации. Напротив, в присутствии полимеров-макроинициаторов начальной конверсии реализуется линейный рост молекулярной массы и снижение полидисперсности (до  $M_w/M_n=1.17$ ). С помощью ЭПР-спектроскопии определены константы скорости реакции реиницирования ( $k_d$ ) и энергии активации. Показано, что величина  $k_d$  не зависит от природы п-хинона. Таким образом, реализация механизма RDRP не зависит от константы скорости ингибирования п-хинона, однако пути обратимого или необратимого ингибирования определяются именно её величиной.

### Благодарности

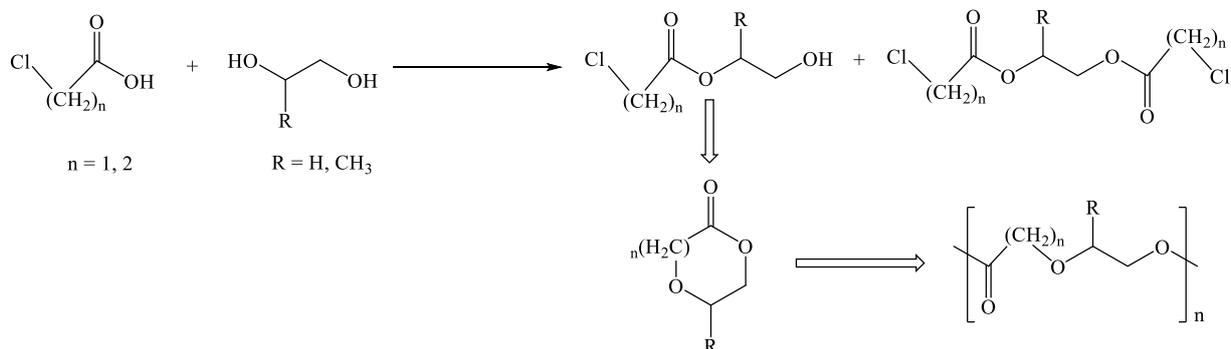
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Просвещения РФ (№ АААА-А20-120092990108-5).

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЕ МОНОМЕРОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С РАСКРЫТИЕМ ЦИКЛА ПУТЕМ ЭТЕРИФИКАЦИИ ХЛОРКИСЛОТ ГЛИКОЛЯМИ

Соловьёва Я.В., Пузырев И.С., Пестов А.В., Власов И.А.

*Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН,  
Екатеринбург, Россия  
yana-soloveva-1998@mail.ru*

Свободно-радикальная сополимеризация виниловых мономеров с циклическими сомономерами, содержащими биоразлагаемые функциональные группы, такие как сложноэфирная и амидная, позволяет достичь оптимальных характеристик разложения для современных пластиков [1, 2]. Такие алифатические полиэферы как полилактиды и полигликолиды применяются в качестве биомедицинских материалов, обладающих способностью к гидролизу и к биосовместимости. Однако их кристалличность обуславливает медленную скорость разложения и низкие значения растяжения. Для улучшения механических характеристик кристаллические полимеры следует объединить с аморфными полимерами путем сополимеризации [3].



Интерес к моноэфирам хлоркислоты и гликоля обуславливается их способностью к циклизации с образованием циклических сложных эфиров, применяемых в качестве мономеров и сомономеров в синтезе биоразлагаемых материалов. В настоящей работе исследована реакция этерификации гомологического ряда хлоркислот гликолями в ряде неполярных, апротонных растворителей. Реакционная смесь анализировалась методом газо-жидкостной хроматографии. В результате разработаны методы синтеза моноэфиров с количественной конверсией и высокой селективностью образования.

### Список литературы:

- [1] Löfgren A. *et al.* Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews **35** (3), 379 (1995).
- [2] Bonnans-Plaisance C., Levesque G., Toulin V. Taylor and Francis Ltd. **143**, 231 (1998).
- [3] Müller A.J., Arnal M.L., Balsamo V. Progress in Understanding of Polymer Crystallization. **517**, 229 (2007).

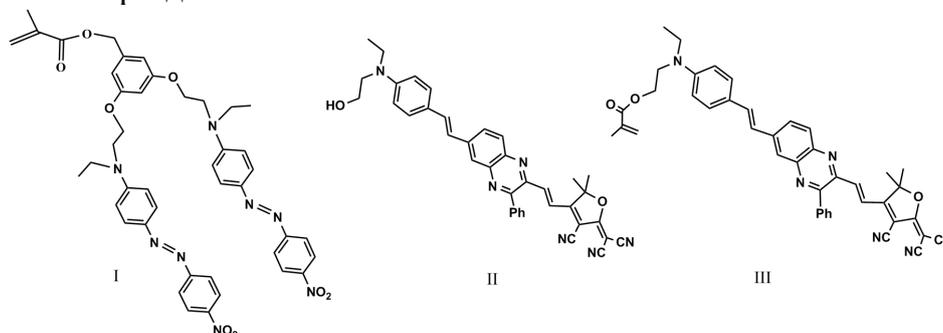
## СИНТЕЗ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ХРОМОФОРНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ В БОКОВОЙ ЦЕПИ

Гайсин А.И.<sup>1</sup>, Вахонина Т.А.<sup>1</sup>, Фазлеева Г.М.<sup>1</sup>, Калинин А.А.<sup>1</sup>, Шмелев А.Г.<sup>2</sup>,  
Исламова Л.Н.<sup>1</sup>, Фоминых О.Д.<sup>1</sup>, Мухтаров А.Ш.<sup>1</sup>, Хаматгалимов А.Р.<sup>1</sup>,  
Балакина М.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский  
научный центр РАН, г. Казань

<sup>2</sup>Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский  
научный центр РАН, г. Казань  
adelgaysin@ya.ru

Проведены исследования эффективности разных подходов к созданию полимерных материалов, характеризующихся высокими значениями и долговременной релаксационной стабильностью квадратичной нелинейно оптической (НЛО) активности. Методом радикальной полимеризации метилметакрилата (ММА) и мономера **I** синтезированы сополимеры с различным содержанием би-азо-хромофорных фрагментов в боковой цепи. На основе сополимеров получены тонкие однородные пленки и определены НЛО характеристики полученных материалов. Установлено, что увеличение концентрации хромофоров в сополимере до ~40 масс% приводит к росту НЛО коэффициентов, благодаря структуре мономера, в которой хромофорные группы пространственно разделены.



Впервые получены метакриловые полимеры, содержащие в боковой цепи дипольные хромофоры с хиноксалиновым фрагментом в пи-электронном мостике, и изучена их НЛО активность. Такие хромофоры характеризуются высокими значениями дипольного момента и электронной гиперполяризуемости по сравнению с азо-хромофорами. Сополимеры получали двумя способами: функционализацией сополимеров ММА-МАК хромофором **II** с использованием реакции этерификации и радикальной сополимеризацией ММА с мономером **III**. Сополимеры, полученные вторым способом, характеризуются заметно более высокими значениями НЛО коэффициентов. Синтезированные полимеры показали хорошую временную и термическую стабильность НЛО отклика.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ; проект № 21-13-00206.

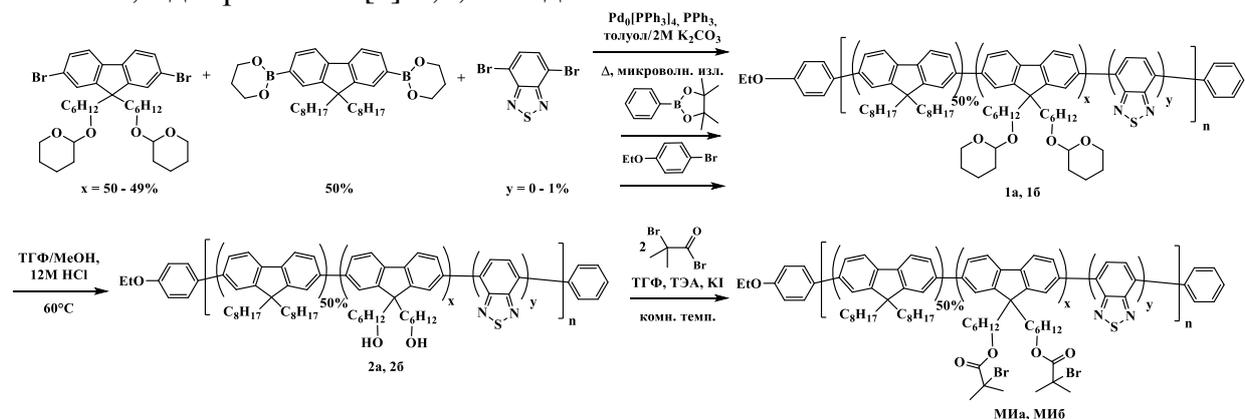
## ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЕТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИФЛУОРЕНА С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ, ИЗЛУЧАЮЩИЕ СИНИЙ И ЗЕЛЕНый СВЕТ

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

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
kaskevich-ksenia@yandex.ru*

Работа посвящена синтезу и изучению свойств амфифильных полимерных щеток (ПЩ) с основной полифлуореновой цепью и боковыми цепями полиметакриловой кислоты, которые излучают синий и зеленый свет. Такие системы могут быть перспективными в области направленной доставки лекарств и биовизуализации [1].

В данной работе был получен мономер на основе 2,7-дибромфлуорена с защищенными ОН-группами, который был использован для поликонденсации по Сузуки. Далее путем снятия пирановой защиты и модифицирования ОН-групп полифлуоренов 2-бромизобутироил бромидом получены макроинициаторы (МИ). Для синтеза МИ с зеленой люминесценцией в ходе поликонденсации был введен 1 мол.% 4,7-дибромбензо[с]-1,2,5-тиадиазола.



Методом «прививки от» по механизму ATRP на МИа и МИб были получены ПЩ с боковыми цепями поли-*трет*-бутилметакрилата (ПФ-*прив*-ПТБМА), а затем реакцией протонолиза эфирных групп боковых цепей были получены амфифильные ПЩ с боковыми цепями полиметакриловой кислоты (ПФ-*прив*-ПМАК). Полученные полимеры были охарактеризованы с помощью ГПХ и люминесцентными методами. Показано, что амфифильные ПЩ в воде образуют мономолекулярные мицеллы и способны сольubilизировать гидрофобные вещества, такие как, например, куркумин и цианиновые красители.

### Список литературы:

[1] Yang C.; Liu H.; Zhang Y.; Xu Z.; Wang X.; Cao B.; Wang M. *Biomacromolecules*. **17**, 1673–1683 (2016).

### Благодарности

*Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (грант 14.W03.31.0022) Мегагрант Правительства Российской Федерации.*

**ФОТОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ФОТОИНИЦИИРУЮЩАЯ  
СПОСОБНОСТЬ 1-ГЕКСАДЕЦИЛЬНЫХ  
ПРОИЗВОДНЫХ ИЗАТИНА, СОДЕРЖАЩИХ  
В ПОЛОЖЕНИИ 5 ЗАМЕСТИТЕЛИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Леньшина Н.А.<sup>1</sup>, Арсеньев М.В.<sup>1</sup>, Богданов А.В.<sup>2</sup>, Чесноков С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт Металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН,  
г. Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова,  
г. Казань*

*lennin@iomc.ras.ru*

Изатин – хорошо известное природное карбонилсодержащее соединений, поглощающее излучение в видимом диапазоне. Изатин и его производные обычно используется в качестве прекурсоров для синтеза широкого спектра биологически активных соединений и служат структурными блоками для получения полимеров, в то время как использованию изатинов в фотоинициирующих радикальную полимеризацию системах посвящены лишь единичные исследования.

Синтезированы и охарактеризованы новые 1-гексадецильные производные изатина, содержащие в положении 5 заместители различной природы. Исследована кинетика их фотовосстановления под действием видимого излучения в присутствии 4-метил-*N,N*-диметиланилина и триэтиламина. Все синтезированные изатины способны к фотовосстановлению в присутствии третичных аминов при облучении видимым светом, при этом наличие атомов хлора и брома в 5 положении увеличивает скорость реакции. Показано, что система «изатин – амин» инициирует фотополимеризацию видимым излучением олигокарбонатдиметакрилата ОКМ-2. Эффективность фотоинициирования коррелирует с активностью изатинов в реакции фотовосстановления.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-00283). Авторы выражают искреннюю благодарность научному сотруднику лаборатории ХРЭ ИМХ РАН Фагину Анатолию Александровичу.*

## УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ В ОПЦ-СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И СТИРОЛА

Минеева К.О.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва  
kominayeva@ya.ru*

В последние десятилетия большой интерес вызывает синтез функциональных сополимеров с заданным комплексом свойств, что требует точного контроля структуры макромолекул. Для управления микроструктурой полимерной цепи подходит известный и в классической радикальной сополимеризации эффект избирательной сольватации мономеров активным центром (bootstrap) в комбинации с полимеризацией по механизму обратимой передачи цепи (ОПЦ), которая толерантна к функциональным группам в том числе ионогенных мономеров, и протекает в мягких условиях.

На примере пары акриловой кислоты и стирола была исследована сополимеризация в присутствии симметричных тритиокарбонатов: низкомолекулярного дибензилтритиокарбоната, и синтезируемым на его основе полярной ПАК, малополярном ПС и их сополимеров. Полимеризацию проводили в средах разной полярности: полярном ДМФА, малополярном 1,4-диоксане и в массе.

Исследованы закономерности ОПЦ-сополимеризации, рассчитаны значения относительных активностей мономеров и обнаружено, что bootstrap-эффект не только не вызывает композиционной неоднородности по ММ и составу, но и позволяет контролировать распределение мономерных звеньев в сополимере.

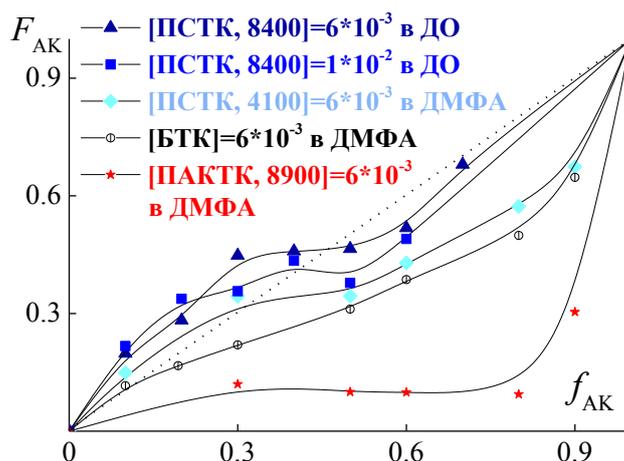


Рис. 1 – Диаграмма составов для сополимеров. Цифрами в квадратных скобках дана молекулярная масса макроОПЦ-агента, после знака = приведена его концентрация в М и растворитель: ДМФА и 1,4-диоксан (ДО).

В докладе также пойдёт речь о некоторых физико-химических свойствах синтезированных сополимеров, на которые также влияет микроструктура цепи.

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-33-90096).*

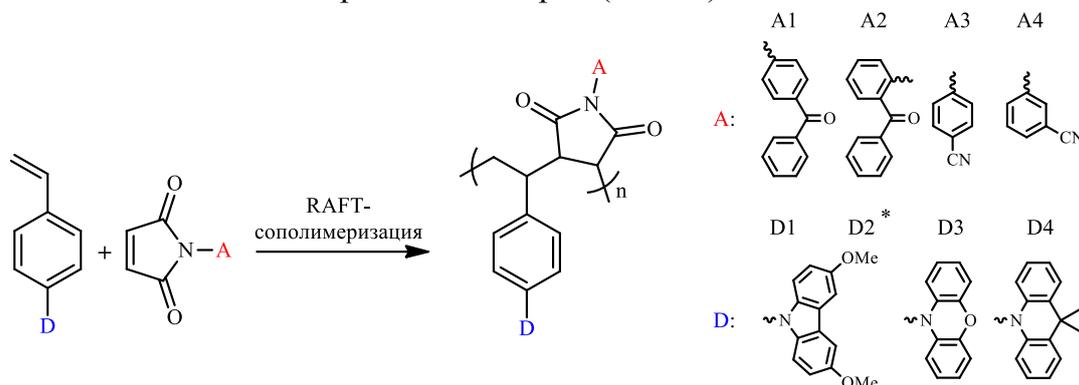
## ЧЕРЕДУЮЩИЕСЯ СОПОЛИМЕРЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ ТЕРМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ОТЛОЖЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЕЙ

Белоусов Г.К.<sup>1,2</sup>, Вайтусёнок А.А.<sup>1,2</sup>, Костюк С.В.<sup>1,2</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  
vaitusionak@bsu.by

Люминесцентные полимеры широко применяются в органической электронике из-за возможности использования недорогих методов получения их плёнок из растворов, таких как "spin-coating", "dip-coating" и др. В настоящее время полимеры, обладающие термически активированной отложенной флуоресценцией, в основном состоят из  $\pi$ -сопряжённых донорно (D) – акцепторных (A) структур, в которых перенос заряда через связь происходит за счёт ковалентно связанных донорных и акцепторных фрагментов [1]. В данной работе предложена новая стратегия получения чередующихся сополимеров с пространственным переносом заряда, заключающаяся в RAFT-сополимеризации донорных мономеров (D1-D4) стирольного типа и акцепторных мономеров (A1-A4) на основе малеимида.



Синтезированные сополимеры имели среднечисловую молекулярную массу  $\sim 12000$  г/моль и умеренное молекулярно-массовое распределение ( $M_w/M_n < 2,0$ ) и характеризовались высокой термической стабильностью ( $T_{ID} > 375$  °C). Было показано, что эмиссию таких сополимеров можно легко настраивать от оранжевой до тёмно-синей, выбирая соответствующую пару донор-акцептор. Плёнки из некоторых синтезированных сополимеров обладали как обычной флуоресценцией с временем жизни в несколько наносекунд, так и отложенной флуоресценцией с временем жизни в микросекундном диапазоне. Синтезированные чередующиеся сополимеры являются перспективными материалами для использования в качестве эмиттеров при производстве полимерных светодиодов.

### Список литературы:

[1] Wei Q., Ge Z., Voit B. *Macromol. Rapid Commun.* **40** (1), 1800570-1800588 (2019).

### Благодарности

Авторы благодарят ГКНТ Беларуси (проект ГКНТ Беларусь-Корея, код проекта X21КОРГ-004) за финансовую поддержку.

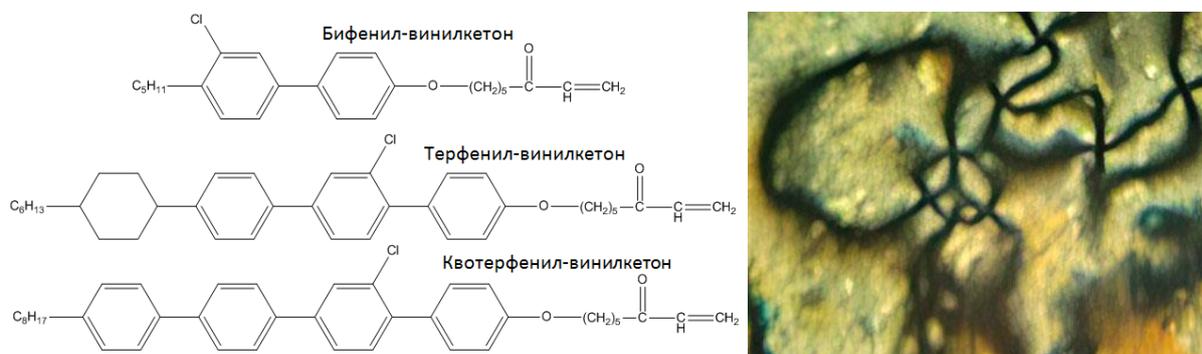
## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИВИНИЛКЕТОНОВ

Дериков Я.И.<sup>1</sup>, Белоусов Д.Р.<sup>1</sup>, Безбородов В.С.<sup>2</sup>, Тальрозе Р.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева  
Российской академии наук, г. Москва

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Беларусь  
derikoff@yandex.ru

Олигомеры и полимеры новых винилкетонс [1] с мезогенными ароматическими заместителями были синтезированы и исследованы. При проведении полимеризации по свободнорадикальному механизму с динитрилом азобисизомаляной кислоты в качестве инициатора наблюдалось падение полимеризационной активности с увеличением размера заместителя при переходе от бифенила к терфенилу/квотерфенилу. Кроме радикальной полимеризации, для изучаемых мономеров была продемонстрирована возможность проведения процесса по механизму с обратимой передачей цепи (ОПЦ) с использованием тритиокарбонатов в качестве ОПЦ-агента. В случае радикальной полимеризации диапазон получаемых молекулярных масс  $M_w$  составлял 3-700 кДа ( $\bar{M}_n$  1.27~2.33), для ОПЦ-полимеризации – 3-7 кДа ( $\bar{M}_n$  1.11~1.44). На рисунке приведены формулы изучаемых винилкетонс с сокращёнными названиями и микрофотография шпирен-текстуры терфенил-винилетона, подтверждающая наличие в нём нематической ЖК фазы при температуре 280 °С.



### Список литературы:

[1] Bezborodov V.S., Finko A.V., Mikhalyonok S.G., Derikov Y.I., Shandryuk G.A., Kuz'menok N.M., Arol A.S., Karpov O.N., Talroze R.V. *Liquid Crystals*. **48** (11), 1544 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 20-13-00341.

## ЭТЕРИФИКАЦИЯ *ОРТО*-ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ В СИНТЕЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИОНОМЕРОВ

Закиров И.Н., Сазонов О.О., Килькинова В.А., Мухамадиев И.М.,  
Давлетбаева И.М.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань  
zakirovilyas1996@gmail.com*

В работах [1-2] путём взаимодействия триэтаноламина (ТЭА), ОФК и полиоксипропиленгликоля (ППГ) были синтезированы аминоэфиры *орто*-фосфорной кислоты (АЭФК). Было использовано такое относительное содержание исходных реагентов, когда потенциально могли бы быть израсходованы на реакцию этерификации все три гидроксильные группы триэтаноламина и по одной гидроксильной группе ППГ. Основным центром ветвления АЭФК является третичный амин, а функцию последующих центров ветвления выполняют фосфаты.

В данной работе изучен механизм катализируемой третичными аминами реакции этерификации *орто*-фосфорной кислоты (ОФК) полиоксипропиленгликолем. Было установлено, что при использовании триэтиламина происходит полная этерификация ОФК, сопровождающаяся образованием в ЭФК полифосфатных структур и терминированных гидроксильными группами разветвленных эфиров ОФК. При использовании в качестве катализатора триэтаноламина протекает неполная этерификация ОФК полиоксипропиленгликолем в результате которой в составе образующихся здесь аминоэфиров *орто*-фосфорной кислоты (АЭФК) остаются непрореагировавшими часть фосфат-анионов. При этом гидроксильные группы триэтаноламина полностью вовлекаются в реакцию этерификации ОФК, но ослабевает каталитическая активность третичного амина вследствие уменьшения его доступности в разветвленной структуре АЭФК. Изучена кинетика катализируемой ТЭА и ТЭЛА реакция этерификации ОФК полиоксипропиленгликолем. Установлено, что триэтаноламин занимает центральную позицию в структуре АЭФК. Исследованы физико-химические свойства АЭФК, синтезированных в широком диапазоне температур и соотношения исходных реагентов, а также физико-механические свойства полиуретановых иономеров, получаемых на их основе.

### **Список литературы:**

- [1] *Davletbaeva I.M., Sazonov O.O., Fazlyev A.R., Davletbaev R.S., Efimov S.V., Klochkov V.V.* RSC Advances. **9**, 18599-18608 (2019).  
[2] *Davletbaeva I.M., Sazonov O.O., Zakirov I.N., Gumerov A.M., Klinov A.V., Fazlyev A.R., Malygin A.V.* Polymers. **13**, 1442 (2021).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 19-19-00136.*

## НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА УЗКОДИСПЕРСНЫХ ТЕЛЕХЕЛЕВЫХ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ В СРЕДЕ АММИАКА

Миняйло Е.О.<sup>1</sup>, Темников М.Н.<sup>1</sup>, Анисимов А.А.<sup>1</sup>, Щеголихина О.И.<sup>1</sup>,  
Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова РАН,  
Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
РАН, Москва, Россия  
Ekaminyaylo1995@mail.ru

Основным методом получения узкодисперсных полидиметилсилоксанов (ПДМС) служит анионная полимеризация гексаметилциклотрисилоксана ( $D_3^{Me_2}$ ), инициируемая металлоорганическими соединениями, преимущественно алкиллитиевыми солями. Однако, при этом необходим жесткий контроль за чистотой используемого мономера и растворителей, а также полное отсутствие влаги в системе и проведение реакции в инертной атмосфере. Также данный процесс, как правило, ведут не до конца. Это связано с тем, что при глубоких степенях конверсии  $D_3^{Me_2}$  активно протекают побочные процессы переноса цепи и деполимеризации, что приводит к уширению молекулярно-массового распределения (ММР) и образованию циклических продуктов. Эти сложности сильно ограничивают использование данного метода в промышленности.

В данной работе представлен новый экологичный способ получения линейных узкодисперсных телехелевых полидиметилсилоксанов, основанный на проведении полимеризации  $D_3^{Me_2}$  с раскрытием цикла в среде аммиака, инициируемой водой (рисунок 1). В этом случае аммиак выступает как в качестве растворителя, так и в качестве катализатора процесса полимеризации. Было изучено влияние таких факторов, как температура, время проведения реакции и концентрация реагентов на процесс полимеризации  $D_3^{Me_2}$ .

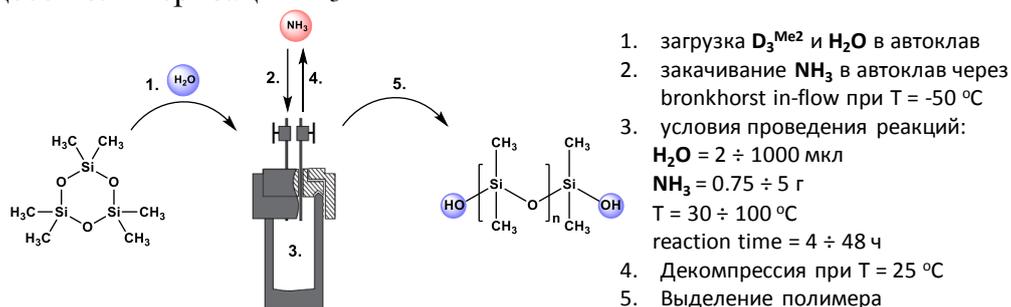


Рис. 1.

Такой метод позволяет получать узкодисперсные полимеры без дополнительных стадий очистки и выделения при практически полной конверсии циклического мономера. Также нами продемонстрирована возможность масштабирования данного процесса и рецикла используемого аммиака, что показывает перспективность данного метода с промышленной точки зрения.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант «РНФ № №21-73-20225»).

## ПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ЛАКТИДА

Ишмухаметова А.Ф., Шекаева А.Р., Спиридонова Р.Р., Федорчук А.Н.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань  
Ishmuhametovaa\_adel@mail.ru*

Полилактид – биоразлагаемый, алифатический полиэфир. Полимер используют в качестве упаковочного материала, а также в современной биомедицине. Основным методом получения полилактида является полимеризация лактида с раскрытием цикла [1]. Для получения высокомолекулярного полилактида необходимо снизить содержание молочной кислоты в мономере. Молочная кислота в лактиде может присутствовать из-за неполной очистки мономера, а также вследствие нестабильности лактида при хранении. Так в нормальных условиях и при температуре минус 10 °С в течение 7 суток кислотное число лактида увеличивается на 3%.

Наиболее распространенным методом очистки лактида является многократная перекристаллизация [2]. Чистота мономера зависит от типа растворителя и кратности очистки. Поэтому представляет значительный интерес исследовать влияние природы растворителя и кратности перекристаллизации на чистоту лактида и оценить его полимеризационную активность.

Для перекристаллизации необходимо подобрать систему растворителей, в котором будут растворяться примеси, содержащиеся в мономере, но не будет растворяться сам лактид. В работе использовали такие органические растворители, как этилацетат, изопропанол, бутанол, толуол, хлороформ и их смеси. Оценивались образцы мономера после 1-ой, 2-ой и 3-ей стадии перекристаллизации. Использование смеси растворителей – этилацетата и изопропанола, позволяет достичь 80 % выхода мономера и снизить содержание молочной кислоты в лактиде после 3-ей стадии перекристаллизации.

Методом ДСК показано, что лактид после 1-ой и 2-ой перекристаллизации отличается от лактида после 3-ей перекристаллизации несимметричностью пиков из-за присутствия в образцах примесей, включая молочную кислоту. Наличие данных примесей в мономере также способствует снижению температуры начала плавления лактида.

Анализ кинетических кривых полимеризации лактида показал, что при увеличении кратности перекристаллизации скорость полимеризации увеличивается. Наибольшая скорость полимеризации наблюдается для лактида после 3-ей перекристаллизации. При этом ПТР полилактида, полученного из лактида после 3-ей перекристаллизации, в три раза меньше, чем у полимера, полученного из лактида после 1-ой и 2-ой перекристаллизации.

**Список литературы:**

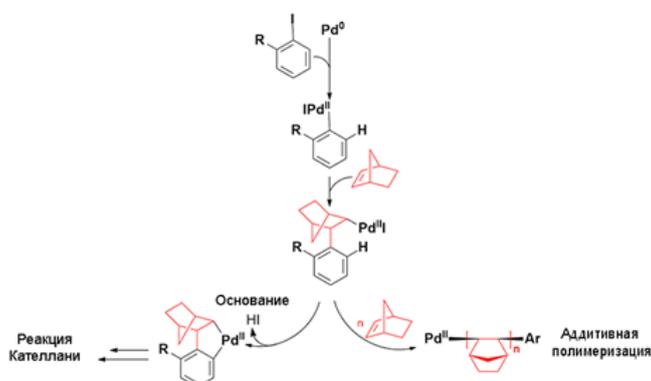
- [1] *Sirol S. Procédé de polymérisation en masse du lactide. Pat. EP 2507289 B1. 16.04.2014.*
- [2] *Fujii Y. Process for purifying lactide and lactide used as food additive. Pat. WO 2000018756 A1. 6.04.2000.*

# КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ ПАЛЛАДИЯ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НОРБОРНЕНА

Карпов Г.О.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева  
Российской академии наук, г. Москва  
karpov@ips.ac.ru

Полимеры на основе производных норборнена хорошо зарекомендовали себя в макромолекулярном дизайне материалов в качестве объектов для изучения влияния структуры полимеров на их свойства [1]. Одной из ключевых задач в этой области является разработка доступных эффективных катализаторов для полимеризации производных норборнена по аддитивной схеме с сохранением бициклической структуры повторяющихся звеньев. Действие наиболее активных катализаторов полимеризации основано на активации Pd-предкатализаторов с использованием металлоорганических реагентов и стабилизаторов – фосфинов [2]. В работе полимеризация норборнена изучена в присутствии нового класса каталитических систем, в которых для активации Pd-предкатализатора используются доступные органические соединения (арилгалогениды, производные арендиазония).



Впервые получены высокомолекулярные продукты полимеризации норборнена без использования металлоорганических активаторов. Систематически изучено влияние строения компонентов каталитических систем на их активность. Показано, что использование фосфинов позволяет значительно увеличить активность каталитических систем, которые ранее были неактивны в полимеризации норборнена. В работе также рассмотрены соответствующие эффекты на примере ациклических диаминокарбеновых Pd-комплексов.

## Список литературы:

- [1] Wang X., Wilson T. J., Alentiev D.A., Gringolts M.L., Finkelshtein, E.Sh., Bermeshev M.V., Long B.K. *Polym. Chem.* **12** (20), 2947 (2021).  
[2] Blank F., Janiak C. *Coord. Chem. Rev.* **253** (7–8), 827 (2009).

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ №. МД-497.2022.1.3.

## ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИЛАКТИДА

Садырина А.А.<sup>1</sup>, Ишмухаметова А.Ф.<sup>1</sup>, Спиридонова Р.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Казанский национальный исследовательский  
технологический университет",  
г. Казань  
sandra00672@gmail.com*

Объемы производства полилактида (ПЛА) непрерывно растут с каждым годом. Это связано с тем, что сырье для его производства доступно, а также с тем, что он обладает биоразлагаемостью. ПЛА можно использовать для изготовления упаковки, одноразовой посуды и медицинских изделий различного назначения, поскольку данный полимер нетоксичен [1]. На сегодняшний день производство ПЛА в Российской Федерации не налажено, так как отсутствует отечественный мономер – лактид, и технология производства ПЛА достаточно сложна. Так, одна из проблем при производстве ПЛА заключается в том, что полимер разрушается при переработке, поскольку он обладает близкими температурами плавления и разрушения [2]. Повысить этот интервал возможно путем использования термостабилизаторов, которые будут замедлять процесс термодеструкции на стадии переработки.

Существует ряд работ, направленных на повышение термостабильности ПЛА, но они носят разрозненный характер, а также рассказывают о применении специфических, не промышленно выпускаемых систем [3, 4]. Поэтому представляет интерес изучить влияние на термостабильность промышленных стабилизаторов, таких как Ирганокс 1010, Иргафос 168, Агидол-2.

Проведение полимеризации ПЛА с использованием Ирганокса 1010, Иргафоса 168 и Агидола-2, показало, что они способны увеличивать термостабильность ПЛА, причем наилучшим стабилизирующим эффектом обладает Агидол-2, а наихудшим - Ирганокс 1010.

Известно, что смеси стабилизаторов могут синергетически повышать термостабилизирующий эффект. Однако, проведение полимеризации с использованием смесей соединений Ирганокса 1010 с Иргафосом 168 показало, что они лучше тормозят термодеструкцию ПЛА. Хотя индивидуальная добавка Иргафоса 168 более эффективно термостабилизирует полимер на начальных этапах. А система Ирганокса 1010 и Агидола-2, позволяет достичь худшего термостабилизирующего эффекта, чем Агидол-2.

**Список литературы:**

- [1]. Белов Д. Наука и инновации, **9**, 21-23 (2013).
- [2]. Kopinke F.-D., Mackenzie K. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, **40**, 43-53 (1997).
- [3]. John A. Cicero, John R. Dorgan, Steven F. Dec, Daniel M. Knauss. Polymer Degradation and Stability, **78**, 95-105 (2002).
- [4] Sen-lin Yang, Zhi-Hua Wu, Wei Yang, Ming-Bo Yang. Polymer Testing, **27**, 957-963 (2008).

## СИНТЕЗ И РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ

Сокольникова Е.В.<sup>1,2</sup>, Вайтусёнок А.А.<sup>1,2</sup>, Фетин П.А.<sup>3</sup>, Костюк С.В.<sup>1,2</sup>

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

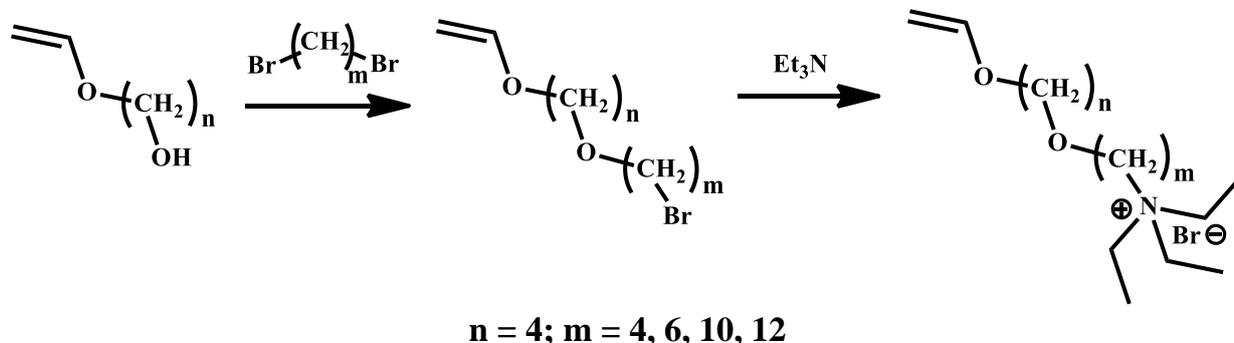
<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

sokolnikovakatia.bsu@gmail.com

С целью проведения органических реакций в более экологичных условиях в качестве реакционной среды часто используют воду, однако её применение часто проблематично из-за нерастворимости в ней многих органических веществ [1]. Для решения этой проблемы используют, например, поверхностно-активные вещества (ПАВ) для перевода в растворимую форму нерастворимых в воде органических соединений. ПАВ в растворах образуют неустойчивые мицеллы, которые реагируют на любые изменения среды, поэтому для "фиксации" мицелл был разработан метод, основанный на полимеризации ПАВ мономеров [2].

В данном исследовании была разработана двухстадийная методика синтеза новых поверхностно-активных виниловых мономеров, а также изучена их радикальная сополимеризация с производными малеимида.



По разработанной методике были впервые синтезированы ПАВ мономеры с оксвинильными полимеризующимися группами, отличающиеся между собой длиной алкильного хвоста. Структура всех соединений была подтверждена спектроскопией ЯМР. Помимо этого, были изучены мицеллообразующие свойства синтезированных мономеров и сополимеров.

### Список литературы:

[1] X. Ge, Sh. Zhang, X. Chen, X. Liu, Ch. Qian. Gr. Chem. **21** (10), (2019).

[2] K. Chatjaroenporn, R.W. Baker, P.A. FitzGerald, G.G. Warr. Jour. of Coll. and Int. Sci. **336**, 449 (2009).

### Благодарности

Авторы благодарят БРФФИ (код проекта X21PM-116) за финансовую поддержку.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛ-КООРДИНИРОВАННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Сидорова М.И.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>, Пупышева У.А.<sup>1</sup>, Давлетбаев Р.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань

<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань  
mtiwanyab9@yandex.ru

Полиуретаны (ПУ) известны как полимеры с широкими возможностями влияния на их технические характеристики и получения как ударопрочных пластиков, так и эластомеров. Одним из способов воздействия на химическое строение и морфологию полиуретанов является их координационное связывание. При изучении взаимодействия полимеров с металлокомплексными системами важным является рассмотрение способности макромолекул связывать ионы металлов и влияния координационного связывания на свойства получаемых материалов. В случае полиуретанов факторами, способствующими воздействию металлокомплексных соединений, являются наличие доменов жестких блоков, а также координационно-способных уретановой и сложноэфирной групп.

В данной работе исследованы особенности структурирования полиуретанов координационными соединениями железа (III) и меди (II) и влияния металлокомплексного связывания на механические и электрофизические свойства металлкоординированных полиуретанов.

Результатом металлокомплексной модификации явилось значительное повышение предельной прочности на разрыв, предельного удлинения при разрыве и понижение удельного объемного электрического сопротивления полученных полиуретанов на три порядка. Высказано предположение, что необычное повышение эластических свойств полиуретанов, сопровождающееся ростом прочности, обусловлено тем, что дополнительные межмолекулярные связи, образованные за счет металлокомплексного связывания, являются лабильными. Исследованы особенности координационного связывания простых и сложных олигоэфирдиолов и уретановых преполимеров на их основе. Установлено, что природа координационного связывания и воздействия металлокомплексных систем определяющим образом зависит от природы олигоэфирдиола, используемого для синтеза полиуретанов.

### **Благодарности**

*«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-33-51001».*

## СИНТЕЗ ПОЛИСИЛОКСАНОВ С АЗИДОПРОПИЛЬНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ И ИХ ПОСТПОЛИМЕРИЗАЦИОННАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПО РЕАКЦИИ АЗИД-АЛКИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ

Миленин С.А.<sup>1</sup>, Безлепкина К.А.<sup>1</sup>, Ардабьевская С.Н.<sup>1</sup>, Клокова К. С.<sup>1</sup>,  
Мигулин Д.А.<sup>1</sup>, Дроздов Ф.В., Музафаров А.М.<sup>1</sup>

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

Полиорганосилоксаны различного строения – важнейший класс кремнийорганических полимеров, имеющих огромное практическое значение: в медицине, машиностроении, аэрокосмической области, в производстве пеногасителей, умягчителей, высокотемпературных смазок и многих других сферах бытовой и промышленной химии. Введение органических заместителей и функциональных групп различной природы в структуру полиорганосилоксанов является, в свою очередь, определяющей синтетической стадией на пути создания материалов на их основе.

В данной работе мы синтезировали широкий ряд полидиметилсилоксановых и силсесквиоксановых структур, в том числе и новых, по недавно разработанным методикам [1-2], создав библиотеку полимерных органосилоксанов с функциональными азидопропильными и ацетиленовыми группами. На следующем этапе нашей работы мы подобрали и оптимизировали условия для эффективного проведения реакции азид-алкинового циклоприсоединения с полиорганосилоксанами различного строения, в том числе полидиметилсилоксанами и полисилсесквиоксанами, без использования аминов и растворителей или с использованием этилацетата в качестве «зеленого» растворителя для некоторых субстратов.

### **Список литературы:**

[1] Migulin, D.; Milenin, S.; Cherkaev, G.; Zezin, A.; Zezina, E.; Muzafarov, A. *Reactive and Functional Polymers*, **2020**, 154, 104648.

[2] Milenin, S.A.; Drozdov, F. V.; Bezlepkina, K.A.; Majorov, V. Yu.; Muzafarov, A.M. *Macromolecules*, 2021, 54, 6, 2921–2935.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 21-73-10082.*

## КОНТРОЛИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ ПОЛИСТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ ДИТИБЕНЗОАТОВ, ТРИТИОКАРБОНАТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ВЛИЯНИЯ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Пронина Ю.С., Павловская М.В., Колякина Е.В.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, Россия  
pavlovskaya@ichem.unn.ru*

Контролируемая радикальная полимеризация (КРП) является одним из основных направлений, позволяющих получать полимеры с четко заданными молекулярно-массовыми характеристиками различной топологии. Среди известных методов КРП особое место занимает обратимая передача цепи (ОПЦ-полимеризация). Данный способ имеет ряд преимуществ, а именно характеризуется технологической простотой осуществления и высокими скоростями процесса, эффективным контролем полимеризации широкого круга мономеров.

Проведена полимеризация стеарилметакрилата (СМА) в присутствии различных передатчиков цепи: 2-пропил-2-цианотритиокарбоната, 2-пропил-2-цианодитибензоата, S-(тиобензоил)тиогликолевой кислоты. Установлено, что вводимые ОПЦ-агенты по-разному влияют на кинетические параметры полимеризации СМА, а также на молекулярно-массовые характеристики полимера. Так S-(тиобензоил)тиогликолевая кислота не оказывает существенного воздействия на синтез полимеров на основе СМА в сравнении с использованием традиционного инициатора динитрила азоиизомасляной кислоты. Используемые цианопроизводные ОПЦ-агенты эффективно регулируют молекулярно-массовые характеристики поли(СМА), позволяют получать полимеры с низкими индексами полидисперсности ( $M_w/M_n=1.1-1.3$ ), а также проводить дальнейшую модификацию макромолекул. В частности, синтезированы пост- и блоксополимеры на основе СМА с метилметакрилатом (ММА), с алкилметакрилатами (сложные эфиры C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub>), глицидилметакрилатом, стиролом (СТ), винилацетатом.

Проанализированы низкотемпературные характеристики дизельного топлива (ДТ) в присутствии синтезированных сополимеров. Полимеры вводились в ДТ в 1% растворе толуола в концентрации 200-1600 ppm. Установлено, что максимальный депрессорный эффект для ДТ в случае поли(СМА) составил 4°C для температуры застывания, а при использовании блок-сополимеров с алкилметакрилатами и СТ - 7°C. Таким образом синтезированные высокомолекулярные соединения способны влиять на низкотемпературные свойства ДТ, в частности на температуру застывания, улучшая данный показатель.

### **Благодарности**

*Работа поддержана грантом Нижегородской области в сфере науки технологий и техники (№ 316-06-16-30а/22).*

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ 4-МЕТИЛМОРФОЛИН N-ОКСИДА НА СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

Томс Р.В.<sup>1,2</sup>, Медведева С.С.<sup>1</sup>, Гервальд А.Ю.<sup>1</sup>, Черникова Е.В.<sup>2,3</sup>,  
Куличихин В.Г.<sup>2</sup>, Прокопов Н.И.<sup>1</sup>, Плуталова А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*МИРЭА – Российский Технологический Университет, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт нефтехимического синтеза РАН им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет, г. Москва*  
*toms@mirea.ru*

Основным сырьём для производства углеродных волокон служит прекурсор, получаемый на основе сополимеров акрилонитрила (ПАН-прекурсор). Важную роль в формировании ПАН волокна прекурсоров углеродного волокна играет растворитель, используемый для приготовления прядильного раствора. В последние годы в качестве растворителя ПАН предложено использовать 4-метилморфолин N-оксид (ММО), который широко применяется в производстве целлюлозного волокна в качестве растворителя.

Цель данной работы исследовать ММО как растворитель при полимеризации АН и изучить свойства полученного продукта, а также изучить влияние ММО на свойства ПАН. Проведена полимеризация АН в ММО в присутствии ДАК при 80 °С. Концентрацию ММО варьировали от 2 до 50 мас%. Показано, что увеличение содержания ММО приводит к снижению ММ, а при содержании ММО более 10 мас% значение ММ продукта не изменяется и остается равным ~ 1000 Да. Методом ТГА было обнаружено, что при нагревании масса образца падает линейно от температуры 150 до 500 °С, а остаточная зольность составляет 55-60 %. При этом на ДСК термограммах заметен слабый экзотермический пик, соответствующий реакции циклизации нитрильных групп. Методом ИК-спектроскопии подтверждено, что олигомер имеет значительное количество циклизованных нитрильных групп. Олигомер переходит в вязкотекучее состояние уже при 100 °С. Предварительные результаты показывают, что олигомерный ПАН, полученный в ММО, не влияет на термическое поведение высокомолекулярного ПАН, но может быть перспективным в качестве пластифицирующей добавки при формировании ПАН-волокна из расплава. При исследовании смесей исходного ПАН с ММО (содержание от 5 до 40 мас%) установлено, что при термическом воздействии процесс циклизации проходит в две стадии, ~ 200 и ~ 270 °С. Чем больше содержание ММО в смеси, тем более интенсивно проходит стадия циклизация при более низкой температуре. При исследовании влияния ММО в растворе ПАН – ДМСО, также показано, что уже при температуре 135 °С снижается ММ ПАН и увеличивается содержание циклизованных CN-групп.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 17-79-30108-П).*

**СЕКЦИЯ 1**  
***СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ***

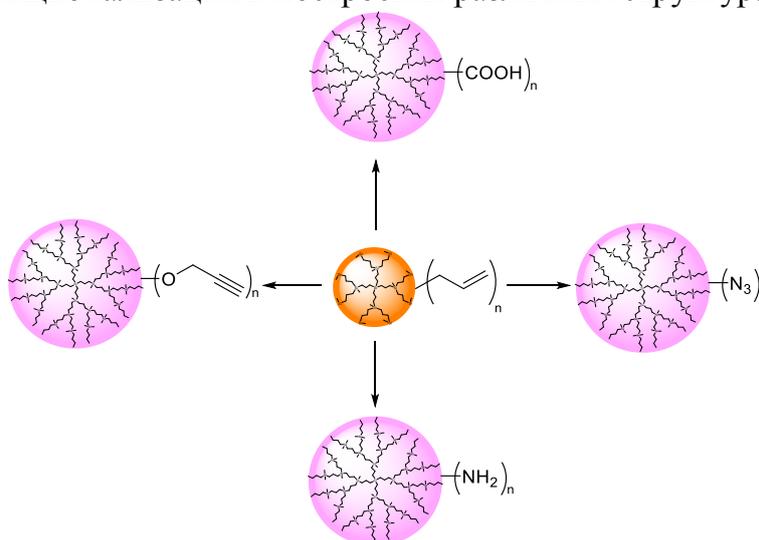
**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

## КАРБОСИЛАНОВЫЕ ДЕНДРИМЕРЫ С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Ардабьевская С.Н., Миленин С.А., Музафаров А.М.

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, г. Москва  
ardabsof@gmail.com*

Дендримеры – это хорошо известный класс полимеров, имеющих ряд уникальных свойств. Среди них выделяются карбосилановые дендримеры, поскольку они имеют преимущества перед другими дендримерами: простую схему получения, химическую инертность скелета, при этом высокую реакционную способность функциональных групп [1]. Поэтому они являются интересными объектами для дальнейшей функционализации и построения различных структур.



В работе продемонстрированы полифункциональные карбосилановые дендримеры с азидной, аминной, карбоксильной и ацетиленовой оболочкой. В качестве исходного соединения взят карбосилановый дендример с аллильной оболочкой. Все полученные соединения охарактеризованы методами ЯМР и ГПХ.

### Список литературы:

[1] Rabiee, N., Ahmadvand, S., Ahmadi, S., Fatahi, Y., Dinarvand, R., Bagherzadeh, M., Rabiee, M., Tahriri, M., Tayebi, L. and Hamblin, M.R. J. of Drug Delivery Science and Technology **59**, 101879 (2020).

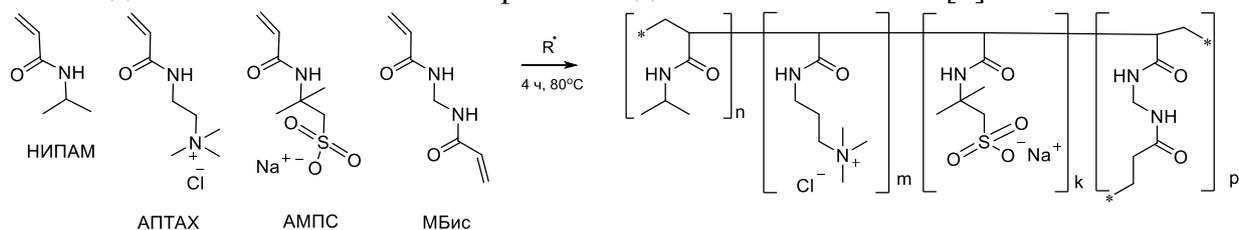
# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМО- И СОЛЕ-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИАМФОЛИТНЫХ НАНОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ АКРИЛАМИДА

Аязбаева А.Е.<sup>1,2</sup>, Шахворостов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт полимерных материалов и технологий, г. Алматы

<sup>2</sup>Satbayev University, кафедра химической и биохимической инженерии, г. Алматы  
ayazbayeva.aigerim@gmail.com

Полиамфолитные наногели могут реагировать на изменения рН, температуры, солевой добавки, смены растворителя, воздействия электрического и магнитного поля, светового излучения и других факторов, что позволяет контролировать их пористость, размер и прочность [1]. Полиамфолитные наногели на основе N-изопропилакриламида (НИПАМ), натриевой соли 2-акриламида-2-метил-1-пропансульфокислоты (АМПС) и (3-акриламидопропил) триметиламмония хлорида (АПТАХ) синтезированы методом свободнорадикальной полимеризации в при мольных соотношениях исходных мономеров [НИПАМ]:[АМПС]:[АПТАХ] = 90:5:5; 90:2,5:7,5; 90:7,5:2,5 мол.%. В предыдущих работах были синтезированы и исследованы линейные полиамфолиты идентичных составов [2].



Структура и состав полиамфолитных наногелей установлены методами ИК-Фурье и <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии. Методом динамического лазерного светорассеяния и дзета-потенциала определены среднегидродинамические размеры R<sub>h</sub> и поверхностные заряды (ζ). Воздействие температуры и солевой добавки на фазовое поведение наногелей изучены в водно-солевых растворах в интервале температур от 25 до 60°C и в интервале ионной силы раствора (μ), создаваемой NaCl, от 1 до 10<sup>2</sup> mM. Температуры фазовых переходов наногелей со сбалансированным зарядом проходят через максимум при добавлении соли, в то время как этот же параметр для наногелей с несбалансированным зарядом резко снижается при более высоких концентрациях добавляемой соли. Фазовые переходы в зависимости от состава и ионной силы раствора NaCl лежат в интервале 33-52°C.

## Список литературы:

[1] Drozdov A., Sanporean C., deClaville Christiansen J. Mater. Today Communications **6**, 92–101 (2016).

[2] Ayazbayeva A., Shakhvorostov A., Seilkhanov T., Aseyev V., Kudaibergenov S. Bulletin of the University of Karaganda. Chemistry **104**, 9-20 (2021).

## Благодарности

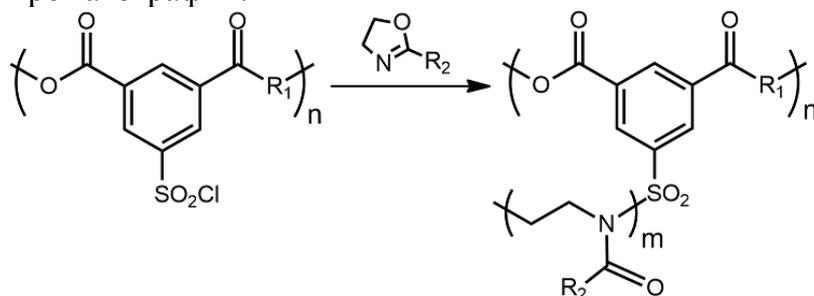
Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855552).

## НОВЫЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИЭФИР-ГРАФТ-ПОЛИОКСАЗОЛИНЫ НА ОСНОВЕ СУЛЬФОНИЛХЛОРИДНЫХ МАКРОИНИЦИАТОРОВ

Блохин А.Н., Разина А.Б., Курлыкин М.П., Теньковцев А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
44stuff44@gmail.com*

Новые амфифильные полиэфир-*графт*-полиоксазолины были синтезированы путем катионной полимеризации оксазолинов с раскрытием цикла с использованием ряда макроинициаторов на основе сложных полиэфиров с сульфонилхлоридными иницирующими группами. Плотность прививки и гидрофильность полиэфирной основной цепи регулировали путём введения различных диолов в структуру полиэфирного макроинициатора. Полиэфиры с сульфонилхлоридными группами были синтезированы по методике акцепторной поликонденсации. На втором этапе проводили катионную полимеризацию 2-алкил-2-оксазолинов с раскрытием цикла в 1,2-дихлорэтане при 100°C с использованием полученных сульфонилхлоридных. Структура синтезированных полимеров подтверждена методом  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопии. Молекулярно-массовые характеристики и плотность прививки определяли методом гелепроникающей хроматографии.



$R_1 = (\text{CH}_2)_3, (\text{CH}_2)_{10}, \text{PEG-200}, \text{PPG-250}, \text{PEG-600}$   
 $R_2 = \text{Et}, \text{i-Pr}, \text{n-Bu}$

Поскольку полиоксазолины являются амфифильными полимерами, их водные растворы претерпевают фазовый переход первого рода под действием температуры. В настоящей работе изучены термочувствительные свойства синтезированных графт-сополимеров, а также изучена взаимосвязь между структурой полимера и проявляемыми свойствами. Показано, что полученные графт-сополимеры характеризуются фазовыми переходами в водном растворе в широком интервале температур от 35 до 80 °С.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (№ 14.W03.31.0022).*

## СИНТЕЗ МИКТОЛУЧЕВЫХ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРОВ С КАЛИКС[8]АРЕНОВЫМ ЦЕНТРОМ ВЕТВЛЕНИЯ И ЛУЧАМИ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И ПОЛИ-2-ОКСАЗОЛИНА

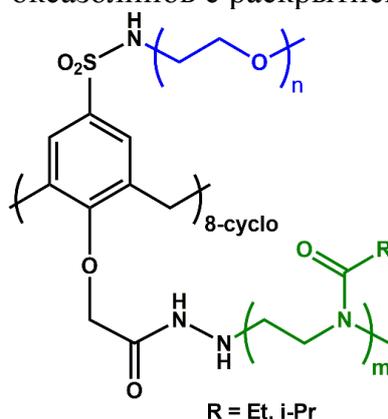
Блохин А.Н., Козина Н.Д., Разина А.Б., Теньковцев А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
44stuff44@gmail.com*

Миктолучевые звездообразные сополимеры представляют собой новый перспективный класс полимеров с лучами различной химической природы, привитыми к единому центру ветвления. Варьирование структуры лучей в макромолекулах миктолучевых сополимеров позволяет тонко регулировать их физико-химические свойства, а также влиять на процессы мицеллообразования и комплексообразования в водных средах.

Однако, получение миктолучевых звездообразных полимеров с заданными структурными характеристиками представляет собой довольно трудоемкий процесс, и требует применения высокоэффективных методов синтеза, таких, как "клик-химия" и контролируемая полимеризация.

В настоящей работе предложен новый метод синтеза миктолучевых звездообразных сополимеров с лучами поли-2-алкил-2-оксазолина и полиэтиленгликоля, а также общим центром ветвления типа каликс[8]арена. В основе метода лежит применение подхода "прививка на мультифункциональный центр ветвления" (Рис. 1). На первом этапе  $\alpha$ -аминофункционализированные цепи полиэтиленгликоля были присоединены в верхний обод каликс[8]арена, функционализированного сульфогруппами. На втором этапе синтеза введенные в нижний обод каликс[8]арена ацилгидразидные группы были использованы для терминирования живущих цепей поли-2-алкил-2-оксазолина, полученных методом катионной полимеризации 2-оксазолинов с раскрытием цикла.



Синтезированные образцы миктолучевых звездообразных сополимеров охарактеризованы методами  $^1\text{H}$  ЯМР спектроскопии, УФ-спектроскопии, гель-проникающей хроматографии.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2022).*

## СОПОЛИМЕРЫ 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ С 2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НОСИТЕЛИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Вагин А.А.<sup>1,2</sup>, Борисенко М.С.<sup>2</sup>, Соловский М.В.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург  
artem.vagin.99@mail.ru*

Разработка систем доставки противовирусных и антибактериальных агентов, направленная на повышение их локальных концентраций в клетке-мишени, улучшение биодоступности, снижение токсичности БАВ, а также на преодоление лекарственной устойчивости возбудителей к применяемым препаратам, является одной из задач современной химии [1]. Среди известных способов модификации БАВ можно выделить дериватизацию целевого лекарственного вещества синтетическими нетоксичными полимерами с образованием производного со свойствами, варьирующимися в зависимости от используемого полимера-носителя.

К перспективным носителям относится сополимер 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты (2-ААМПСК) с 2-гидроксиэтилметакрилатом (2-ГОЭМА), в состав которого входят реакционноспособные гидрокси- и сульфогруппы, позволяющие включить в состав дериватов на его основе несколько БАВ. Искомые сополимеры получали методом сополимеризации в этаноле при 65°C в течение 48 ч, в качестве инициатора использовали АИБН. Очистку образцов от остатков мономеров осуществляли методом диализа против воды через полупроницаемую мембрану с MWCO 1000. Состав сополимеров определяли потенциометрическим титрованием, растворяя навеску образца в избытке 0,1 н NaOH и титруя остаток щелочи 0,1 н HCl. Строение сополимеров 2-ААМПСК–2-ГОЭМА подтверждали методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.

Ввиду наличия собственной противовирусной активности у сульфосодержащих полимеров, была оценена противовирусная активность сополимеров 2-ААМПСК–2-ГОЭМА по отношению к респираторно-синцитиальному вирусу человека (HRSV). Полученные значения химиотерапевтического индекса составили 3-10, что позволяет говорить о наличии противовирусной активности у искомым сополимеров.

### **Список литературы:**

[1] *Панарин Е.Ф., Лавров Н.А., Соловский М.В., Шальнова Л.И.* Полимеры-носители биологически активных веществ. Санкт-Петербург, ЦОП «Профессия», 2014.

### **Благодарности**

*Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУ НИИ гриппа им. Смородинцева за проведение тестов противовирусной активности полученных сополимеров.*

## СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ПОЛИИМИДА НА ОСНОВЕ 3,3',4,4'-БИФЕНИЛТЕТРАКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ И 1,3-БИС-(4-АМИНОФЕНОКСИ) БЕНЗОЛА

Валиуллин К.С.<sup>1,2</sup>, Солдатова А.Е.<sup>2</sup>, Цегельская А.Ю.<sup>2</sup>, Кузнецов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова МИРЭА  
Российского Технологического Университета,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова,  
г. Москва  
Dunkelheit0stern@gmail.com*

Ароматические полиимиды (ПИ) – класс полимеров с уникальным комплексом свойств, таких как термостабильность, теплостойкость, широкий температурный интервал эксплуатации и др. нашли широкое применение в различных областях (аэрокосмическая промышленность, электроника и т.д.) [1]. На данный момент актуальной задачей является развитие термопластичных ПИ с высокой теплостойкостью (300-350 °С), в частности создание отечественных аналогов известных термопластичных полиимидов, таких как Aurum, LARC CPI и др.

В данной работе был синтезирован ароматический полиимид на основе коммерчески доступных мономеров диангирида 3,3',4,4'-бифенилтетракарбонической кислоты и 1,3-бис-(4-аминофенокси) бензола (диамин R) с использованием оригинального метода высокотемпературной каталитической поликонденсации в расплаве бензойной кислоты [2]. Целью данной работы была оптимизация физико-химических свойств синтезированного полиимида для получения продукта, способного перерабатываться через расплав стандартными для термопластичных полиимидов методами.

Для этой цели были выбраны несколько способов: использование мономеров не в стехиометрическом соотношении; использование процессинговых добавок, а также добавление олигомерных продуктов такой же химической структуры.

Были изучены термические свойства полученных образцов методами дифференциально-сканирующей калориметрии, термогравиметрическим и термомеханическим анализом, структура и морфология были подтверждены методами ИК-спектроскопии и с использованием широкоугольного рентгеновского рассеяния, а также предварительно влияние разных способов улучшения реологических свойств проверяли прессованием в высокотемпературной прессе.

### **Список литературы:**

[1] Михайлин Ю.А. Санкт-Петербург: Профессия, 2006. – 624 с.

[2] Kuznetsov A.A. High Performance Polymers **12** (3), 445 (2000).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 20-53-04022.*

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕСТКИХ БЛОКОВ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ И ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕГМЕНТНЫХ ПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИН

Васильев Б.В.<sup>1,2</sup>, Попова Е.Н.<sup>1</sup>, Ваганов Г.В.<sup>1</sup>, Светличный В.М.<sup>1</sup>, Смирнова В.Е.<sup>1</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
“ЛЭТИ”, г. Санкт-Петербург  
boris8152@gmail.com*

Варьирование химической структуры ароматических и алифатических звеньев при физико-химическом конструировании мультиблочных сополимеров позволяет целенаправленно изготавливать материалы со свойствами термопластов, эластомеров и термоэластопластов. Некоторые из таких материалов проявляют эффект памяти формы и могут быть использованы в качестве интеллектуальных механических приводов, имплантатов, стентов, шовных нитей и манипуляторов. Проводимый в данной работе за счет использования диизоцианатов и диаминов различного химического строения молекулярный дизайн сегментных полиуретанмочевин (ПУМ) на основе поликапролактон диола (ПКЛ) с молекулярной массой 2 кДа позволил выявить корреляции между надмолекулярной структурой мультиблок-сополимеров и их термомеханическими свойствами. Выбор ПУМ в качестве объектов исследования был обусловлен образованием в них бидентантных водородных связей между группами мочевины и уретана, что способствуют более эффективному микрофазовому разделению ароматических и алифатических блоков по сравнению с другими типами сегментированных полиуретанов. Более высокая степень разделения гибкой и жесткой фаз положительным образом сказывается на релаксационных и фазовых переходах в сегментных ПУМ, что позволяет достигать значительных обратимых деформаций при механических испытаниях такого рода систем. Для формирования жестких блоков были использованы симметричные и асимметричные диизоцианаты (4,4'-метиленидифенилдиизоцианат (МДИ), 2,4-толуиленидиизоцианат (ТДИ)) в комбинации с диаминами гетероциклической структуры (м-фенилендиамин (ФДА), п-ФДА, 4,4'-диаминодифенил, 4,4'-диаминодифениловый эфир, 4,4'-бис-(4-аминофеноксидифенилсульфон (СОД)). Структура всех полученных составов ПУМ была подтверждена методами ИК и ЯМР-спектроскопии. Температуры стеклования, плавления и кристаллизации полученных материалов были определены с помощью методов ДСК и ДМА. Механические свойства ПУМ были измерены в режиме одноосного растяжения. Было показано, что увеличение длины жестких блоков приводит к росту значений модуля Юнга и снижению относительного удлинения при разрыве. Наличие в структуре удлинителя цепи кислорода в качестве шарнира способствовало кристаллизации гибких сегментов ПУМ. На основе ПКЛ, диизоцианатов МДИ и ТДИ, а также диамина СОД были синтезированы мультиблок-сополимеры с плато каучукоподобной эластичности в широком интервале температур (50÷150°C), которые перерабатывались с применением аддитивных технологий и литьевых методов.

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

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

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н. И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород  
artem.vlasov5702@gmail.com*

Агенты обратимой передачи цепи, применяемые при радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи, видоизменяют механизм полимеризации таким образом, что ход реакции легко контролировать, а получаемые полимерные образцы отличаются более узким молекулярно-массовым распределением [1, 2]. В общем случае, для активных и неактивных мономеров требуются агенты различного строения, что ограничивает возможности метода. рН-чувствительные ОПЦ агенты, являющиеся предметом наших исследований, в зависимости от условий синтеза могут существовать в протонированной или нейтральной формах и могут быть использованы для полимеризации мономеров различной активности и, что немаловажно, для сополимеризации активных и неактивных мономеров [3]. В работе был синтезирован рН-чувствительный агент ОПЦ 1-циано-1-метилэтил(фенил)(пиридин-4-ил)-карбамодитионат (ЦМПК). Исследована полимеризация стирола, винилацетата, метилметакрилата и метилакрилата в присутствии различных концентраций ЦМПК как в присутствии донора протонов (трифторуксусная кислота), так и без него. Показана различная эффективность протонированной и нейтральной форм ЦМПК в полимеризации исследованных мономеров. Получен блок-сополимер ПСт-блок-ПВА, сополимер стирол-метилакрилат и стирол-винилацетат, получены кривые состава сополимера стирол-метилакрилат, определены относительные активности мономеров.

### **Список литературы:**

- [1] *Chernikova, E.V., Sivtsov, E.V.* Polymer Science, Series B. **59**, 117 (2017).
- [2] *Barner-Kowollik.* Handbook of RAFT Polymerization. WILEY-VCH, 2008.
- [3] *Keddie D. J., Guerrero-Sanchez C., Moad G, Mulder R.J., Rizzardo E., Thang S.H.* Macromolecules **45**, 4205 (2012).

## СИНТЕЗ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОЛИГОМЕРОВ НА БАЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ИХ МЕЗОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА

Горбачев С.А., Зуев В.В.

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
г. Санкт-Петербург  
stas89755@mail.ru*

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

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

### **Список литературы:**

- [1] *Lugger S.J.D., Houben S.J.A., Foelen Y., Michael G. Debije M.G., Schenning A.P.H.J., Mulder D.J. Chem.Rev. 121, (2021).*  
[2] *Zuev V.V., Gorbachev S., Ostanin S.A., Pikhurov D.V. Liquid Crystals. (2022).*

## 1-P-10

# ПАРОПРОНИЦАЕМЫЕ И ПЕРВАПОРАЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИОНОМЕРОВ

Давлетбаева А.Р., Сазонов О.О., Закиров И.Н., Давлетбаева И.М.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань  
davletbaeva09@mail.ru*

Первапорация рассматривается как перспективная технология для разделения азеотропных смесей, термочувствительных соединений, органо-органических смесей, а также при удалении разбавленных органических соединений из сточных вод. По сравнению с традиционными технологиями разделения, такими как процессы дистилляции, экстракции и абсорбции первапорация имеет ряд преимуществ, такие как малая занимаемая площадь, безвредность для окружающей среды, простота и удобство использования.

На основе аминоэфиров орто-фосфорной кислоты (АЭФК) получены и исследованы фосфорорганические полиуретановые иономеры (АЭФК-ПУ) в качестве первапорационных мембранных материалов для разделения смеси изопропанол/вода. Исследованы также закономерности изменения паропроницаемости АЭФК-ПУ. Установлено, что увеличение содержания нелетучих компонентов в составе уретанобразующей системы и содержания ионогенных групп в АЭФК приводит к заметному росту паропроницаемости получаемых пленочных материалов.

Повышение значений паропроницаемости сопровождается значительным ростом первапорационных характеристик АЭФК-ПУ. Для влияния на надмолекулярную организацию аминэфиров орто-фосфорной кислоты были использованы полиоксипропиленгликоль (ППГ) и полиоксиэтиленгликоль (ПЭГ). Было показано, что условия, способствующие кластеризации фосфат-анионов, обуславливают повышение значений коэффициента паропроницаемости АЭФК-ПУ, получаемого с использованием полиоксипропиленгликоля. Однако, гидрофобность полиоксипропиленгликоля, окружающего кластеры, затрудняет продвижение воды сквозь полимерную матрицу. Благодаря гидрофильности полиоксиэтиленгликоля наиболее высокие значения паропроницаемости первапорационных характеристик достигаются для АЭФК-ПУ, синтезированных с использованием ПЭГ.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 19-19-00136.*

## ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ

Денисова Е.О., Осовская И.И.

Санкт-Петербургский университет промышленных технологий и дизайна,  
 высшая школа технологии и энергетики,  
 г. Санкт-Петербург  
 Denisova.catia2000@yandex.ru

Сегодня крахмал является важным техническим продуктом, который имеет широкое применение в текстильной промышленности, применяется в медицине и косметологии [1].

Научные исследования по разработке эффективных способов изменения природных свойств крахмала в настоящее время интенсивно развиваются. Декстрин представляет собой модифицированный расщепленный крахмал, полученный термической обработкой. Необходимо признать отсутствие ряда физико-химических характеристик модифицированного крахмала в научных исследованиях, что не позволяет использовать его в различных областях [2,3]. Целью данной работы является исследование физико-химических характеристик полученного модифицированного крахмала. В работе методами рН метрия, методом Дю-Нуи, растворимости изучены коллоидно-химические свойства модифицированного крахмала. Определено поверхностное натяжение, растворимость в различного класса растворителях, изучена пленкообразующая способность, получена зависимость влияния рН на вязкость раствора полимера. Для повышения поверхностной активности (G) в раствор декстрина внесли карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ). Добавка КМЦ увеличила поверхностную активность с 17,39 мДж\*м/кг до 25,31 мДж\*м/кг. В работе исследовано влияние вязкости раствора декстрина в зависимости от рН. Изучена пленкообразующая способность декстрина и показано влияние пластификатора на пластичность полимера. На основании полученных данных по поверхностному натяжению и вязкости была синтезирована краска для детского художественного творчества. В качестве пигмента использовали оксид железа(III) ( $Fe_2O_3$ ). Свойства лакокрасочного материала по полученным результатам приведены в таблице.

Характеристика	Результат
<u>Укрывистость</u>	249,5 г/м <sup>2</sup>
Адгезия	2 балла
<u>Смываемость</u>	31,1 г/м <sup>2</sup>

В работе показана клеящая способность декстрина. Время жизни клея на основе декстрина составило 4 часа. В качестве склеивающихся образцов взяты: бумага, стекло,

дерево. Прочные соединения характерны для всех трех образцов.

**Список литературы:**

- [1] Сырохан И.В., Задорожный И.М., Пономарев П.Х. Товароведение продовольственных товаров. Киев, Либра, 1997.  
 [2] Руськина А.А. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии 5 (3), 4 – 5 (2017).  
 [3] Denisova E.O. Proceedings of the XIV Interuniversity Scientific and Practical Conference with International Participation, Saint Petersburg. 1, 28-31 (2021).

**1-Р-12**  
**ПОЛИМОДАЛЬНАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ**  
**ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ**  
**ПОЛИМЕРОВ**

Доронин Ф.А., Рытиков Г.О., Рудакова А.В., Цуканова А.Ю., В.Г. Назаров

*Московский политехнический университет,  
г. Москва  
f.a.doronin@mospolytech.ru*

В работе исследована взаимосвязь между характеристиками фрактальности, как количественной меры природоподобности, и морфологической гетерогенности, как обобщения неоднородностей химического состава и текстуры, композиционных материалов на основе модифицированных полимеров (ПЭНП, ПЭТ). Методами аддитивного прототипирования на поверхности модифицированных полимеров были нанесены функциональные слои, обеспечившие формирование новых, характеризующих полимодальной (нано-, микро- и макро-) морфологической гетерогенностью элементов устройств микрофлюидики. Показано, что направленное поверхностное структурирование полимеров газофазным оксифторированием и плазмохимической обработкой позволяет увеличить усилие адгезии филамента к поверхности подложек в 4-15 раз в зависимости от типа полимера и режима модификации, что создает перспективы изготовления полноценных микрожидкостных устройств на основе полимерных подложек малой толщины от 20 до 150 мкм.

**Благодарности**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта № 20-03-00191 А*

## АНИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ГЕКСАМЕТИЛЦИКЛОТРИСИЛОКСАНА В СРЕДЕ АММИАКА, ИНИЦИИРУЕМАЯ СПИРТАМИ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ

Ефимов К.В.<sup>1</sup>, Анисимов А.А.<sup>1</sup>, Ершова Т.О.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт элементоорганических соединений Российской академии наук,  
г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт синтетических полимерных материалов Российской академии наук,  
г. Москва*

Полиорганосилоксаны – обширный класс полимеров с неорганическими основными цепями макромолекул. Они обладают широким спектром применений – их используют в лакокрасочной и косметической промышленности, в электронике и даже в самолётостроении.

Для контроля свойств новых получаемых материалов необходимо использовать узкодисперсные олигомеры и полимеры. Основным методом получения узкодисперсных ПДМС является анионная полимеризация гексаметилциклотрисилоксана D<sub>3</sub>, инициируемая литийорганическими соединениями [1]. Однако применение данного метода ограничено вследствие высокой чувствительности соединений лития к воздуху и влаге.

В лаборатории кремнийорганических соединений при ИНЭОС РАН был разработан метод полимеризации D<sub>3</sub> в среде аммиака, инициируемой водой. Все реагенты, участвующие в реакции полимеризации, хорошо растворимы в жидком аммиаке; кроме того, сам аммиак способен катализировать процесс. Полученные таким методом ПДМС-(ОН)<sub>2</sub> имеют узкое молекулярно-массовое распределение.

В данной работе показана возможность получения узкодисперсных ПДМС с различными функциональными концевыми группами методом анионной полимеризации D<sub>3</sub> в среде аммиака, инициируемой спиртами различного строения, а также проведено исследование влияния продолжительности реакции и концентрации спирта на молекулярно-массовые характеристики получаемого полимера. В таких условиях отсутствует необходимость в выделении полимера: после осуществления декомпрессии весь аммиак удаляется из реактора.

### Список литературы:

[1] Vysochinskaya Y.S., Anisimov A.A., Peregudov A.S., Dubovik A.S., Orlov V.N., Malakhova Y.N., Stupnikov A.A., Buzin M.I., Nikiforova G.G., Vasil'ev V.G., Shchegolikhina O.I., Muzafarov A.M. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* **57** (11), 1233-1246 (2019).

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант №21-73-20225).*

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КАРБОРАНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ

Зубова В.Ю.<sup>1</sup>, Миняйло Е.О.<sup>2</sup>, Анисимов А.А.<sup>2</sup>, Зайцев А.В.<sup>2</sup>, Ольшевская В.А.<sup>2</sup>, Бузин М.И.<sup>2</sup>, Музафаров А.М.<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва  
valera.zubova.2002@mail.ru

Полидиметилсилоксаны (ПДМС) – наиболее крупнотоннажные и используемые полиорганосилоксаны. Они характеризуются высокой степенью регулярности полимерных цепей, содержащих одинаковые заместители при атоме кремния, что приводит к появлению кристаллизации. Это определяет снижение механических характеристик ПДМС [1]. Поэтому одной из важнейших проблем современного материаловедения является придание новых ценных свойств таким полимерам.

Одним из способов решения данной проблемы представляется введение в структуру ПДМС карборанильных заместителей. Это оказывает стабилизирующий эффект на силоксановую цепь за счет чрезвычайно высокой термической и термоокислительной стабильности карборанового полиэдра [2].

В данной работе на первом этапе были получены ПДМС с различным соотношением метилгидридсилильных и диметилсилильных звеньев по реакции равновесной катионной полимеризации (Рис. 1).

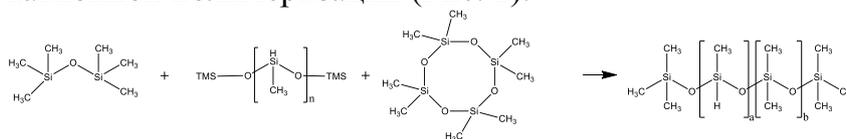


Рис. 1 - Схема получения распределённых ПДМС.

Далее по реакции гидросилилирования полученных полимеров 9-аллил-*m*-карбораном были синтезированы соответствующие карборансодержащие полисилоксаны (Рис. 2).

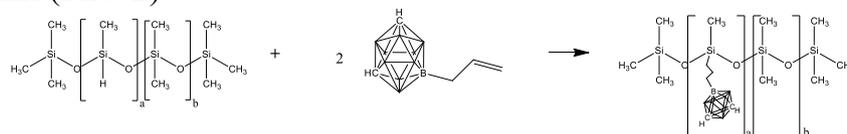


Рис. 2 - Схема получения карборансодержащих полидиметилсилоксанов.

Термические свойства полученных поликарборансилоксанов были изучены методами ДСК и ТГА, исследованы их реологические свойства в растворе и блоке.

### Список литературы:

- [1] Воронков М. Г., Милешкевич В.П., Южелевский Ю.А. Силоксановая связь, 1976.  
[2] R. N. Grimes. Carboranes. Sec. Ed. 2011.

### Благодарности

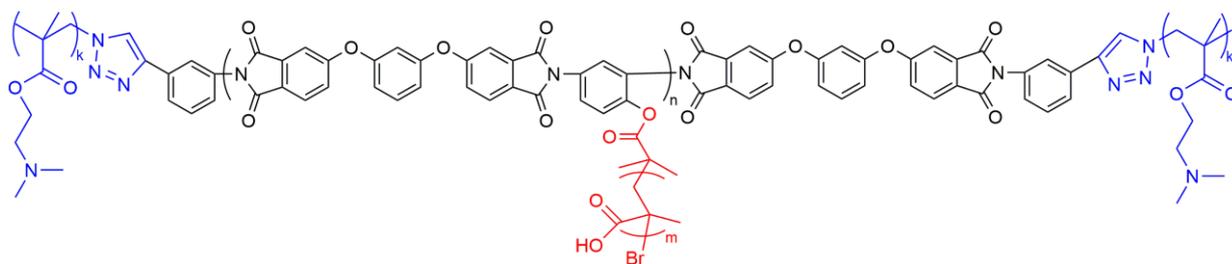
Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант «РНФ № № 21-73-10178»).

## БЛОК-ПРИВИТЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЩЕТКИ АВА-ТИПА С ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ БЛОКАМИ

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

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

Синтезированы новые четко-определенные амфифильные блок-привитые молекулярные щетки АВА-типа с центральным “щеточным” блоком с полиимидной (ПИ) основной цепью и боковыми цепями полиметакриловой кислоты (ПМАК) и термочувствительными периферийными цепями поли(*N,N*-диметиламиноэтилметакрилата) (ПДМАЭМА). Для синтеза целевых сополимеров использован подход, основанный на комбинации метода радикальной полимеризации с переносом атома АТРР и Cu(I)-катализируемого циклоприсоединения азидов и алкинов.



Поскольку реакции АТРР и CuAAC протекают с участием каталитических комплексов на основе солей Cu(I), протестирована возможность последовательного и одновременного проведения АТРР и “клик”-химии с использованием гетерофункциональных полиимидных макроинициаторов, содержащих α-бромэфирные группы в каждом повторяющемся звене и алкинильные группы в концевых звеньях.

### Благодарности

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

## СИНТЕЗ ПОЛИСИЛОКСАНОВ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЛИГАНДОМ В ОСНОВНОЙ ЦЕПИ

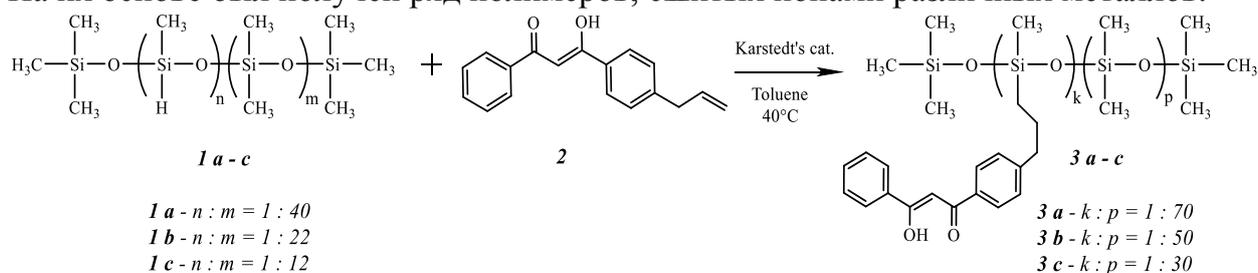
Ильина Т.М.<sup>1,2</sup>, Ким Э.Е.<sup>2</sup>, Кононевич Ю.Н.<sup>2</sup>, Музафаров А.М.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,  
факультет технологии неорганических веществ и высокотемпературных  
материалов, г. Москва

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова  
Российской академии наук, г. Москва

<sup>3</sup>Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, г. Москва  
Tatiana.ilina.work@mail.ru

В настоящее время в рамках координационной химии возможно получение комплексных соединений и координационных полимеров, обладающих определенными размерами, структурой и свойствами, путем варьирования органических лигандов и ионов металлов. Также существуют координационные полимеры, получаемые за счет внедрения ионов металлов в полимерную цепь за счет координационного связывания. Они находят применение в разработке материалов, обладающих способностью к самозаживлению, каталитической или магнитной активностью, люминесценцией и другими характеристиками [1]. Существует большое количество работ, посвященных получению координационных полимеров на основе полисилоксанов [2], обладающих рядом ценных свойств [3]. В данной работе были синтезированы полисилоксаны со статистически распределенными в основной цепи  $\beta$ -дикетонными фрагментами. На их основе был получен ряд полимеров, сшитых ионами различных металлов.



### Список литературы:

- [1] M. Ceglowski, G. Schroeder. Chemical Communications Journal. **259**, 885-893 (2015).  
 [2] Liu L., Liang Sh., Huang Ya., Hua Ch., Yang J. Chemical Communications Journal. **53**, 12088-1209 (2017).  
 [3] Yi B., Wang Sh., Hou Ch., Huang X., Cui J., Yao X. Chemical Engineering Journal. **405**, 127023 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант №18-73-10152).

## СИНТЕЗ МИКРОПОРИСТЫХ СВЕРХСШИТЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Кириллов А.С., Горшков Н.И.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
a.kirillov2622@gmail.com*

Сверхсшитые полистирольные (стирол-дивинилбензолные) сорбенты (ССПС) являются перспективными хроматографическими материалами для очистки биологических сред, сточных вод, фармацевтических препаратов в режимах микропрепаративной и флэш-хроматографии, твердофазной экстракции. ССПС являются сильно гидрофобными хроматографическими сорбентами. Однако наличие уникальной морфологической структуры позволяет проводить хроматографические разделения на ССПС в водных средах. Особый интерес представляют микропористые ССПС, являющиеся материалами ограниченного доступа, которые способны селективно сорбировать низкомолекулярные соединения без удерживания крупных молекул.

Целью данной работы являлась разработка методов синтеза микропористых сверхсшитых полистирольных сорбентов с заданными свойствами и исследование их характеристик. Синтез ССПС представляет собой двухстадийный процесс, при котором осуществляется синтез исходной матрицы с последующей сшивкой (рис. 1). В качестве исходной матрицы методом радикальной суспензионной полимеризации были получены гранулы гелевого сополимера стирола с 2 % дивинилбензола. Исходный сополимер был использован при синтезе ССПС с номинальными степенями сшивки 100, 150 и 200 %. Синтез ССПС осуществлялся по реакции Фриделя-Крафтса, а в качестве катализатора использовалось безводное хлорное железо.

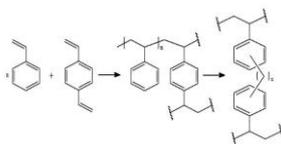


Рис. 1 - Схема двухстадийного синтеза ССПС.

Удельная внутренняя поверхность и объем пор полученных ССПС были определены методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота. Гистограммы распределения пор по размерам, свидетельствуют о том, что все полученные ССПС являются микропористыми, так как в их структуре преобладают поры размером около 2 нм и отсутствуют поры больше 3 нм. Структура ССПС подтверждена методом ИК-спектроскопии.

Также была проведена оценка сорбционной способности полученных ССПС по отношению к модельным низкомолекулярным соединениям и низкомолекулярным белкам. Таким образом, в ходе работы были синтезированы микропористые ССПС с различными степенями сшивки, а также исследованы их структурные и сорбционные характеристики. Микропористые ССПС могут найти широкое применение в химии высокомолекулярных соединений для очистки целевых полимеров от низкомолекулярных продуктов, инициаторов, катализаторов и др.

**СИНТЕЗ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИ(2-ОКСАЗОЛИН)ОВ И  
ПОЛИ(2-ОКСАЗИН)ОВ НОВОГО ТИПА С КАЛИКС[4]АРЕНОВЫМ  
ЦЕНТРОМ ВЕТВЛЕНИЯ**

Козина Н.Д., Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю.

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

Поли-2-алкил-2-оксазолины и поли-2-алкил-2-оксазины – термочувствительные полимеры, представляющие класс синтетических полиамидов, получаемых методом живой катионной полимеризации с раскрытием цикла и образованием N-ацилированных полиэтилениминов. Особый интерес представляет возможность получения звездообразных полимеров с гидрофобным каликсареновым ядром, которые могут применяться для контролируемой доставки лекарственных препаратов. Для синтеза полимеров такой структуры роль инициатора могут выполнять функционализированные каликсареновые макроциклы.

В настоящей работе синтезированы звездообразные термочувствительные поли(2-алкил-2-оксазолин)ы и поли(2-алкил-2-оксазин)ы с каликс[4]ареновым ядром и исследование их молекулярно-массовых характеристик. В качестве макроинициатора предложено использовать сульфохлорированный в верхнем ободе каликс[4]арен, поскольку ранее было показано, что ароматические сульфонилхлориды являются эффективными инициаторами катионной полимеризации 2-оксазолинов [1].

Исследована кинетика полимеризации 2-этил-2-оксазолина в сульфолане, при температуре 100°C, рассчитана константа скорости роста цепи. Синтезированы образцы звездообразных поли(2-алкил-2-оксазолин)ов и поли(2-алкил-2-оксазин)ов: гомополимеры на основе 2-этил-2-оксазолина, 2-изопропил-2-оксазолина, 2-этил-2-оксазина и 2-изопропил-2-оксазина. Молекулярно-массовые характеристики и структура синтезированных полимеров исследованы методами ГПХ и ЯМР.

**Список литературы:**

[1] Блохин А.Н., Разина А.Б., Курлыкин М.П., Теньковцев А.В. Вестник ТвГУ. Серия: Химия **2**, 39-46 (2016).

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-2699.2021.1.3).*

## КИНЕТИКА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА И 2-МЕТИЛ 5-ВИНИЛТЕТРАЗОЛА В ПРИСУТСТВИИ ДИБЕНЗИЛТРИТИОКАРБОНАТА

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

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), кафедра химической технологии полимеров,  
г. Санкт-Петербург  
krygina.dm@gmail.com*

Полимеры на основе винилтетразолов проявляют высокую физиологическую активность [1,2] и могут найти применение как лекарственные средства (ЛС) или как их носители в составе макромолекулярных терапевтических систем. Полимерные формы ЛС обладают рядом преимуществ: снижают токсичность лекарства, пролонгируют его действие и снижают риск передозировок. Однако, к полимерам биомедицинского назначения предъявляются жесткие требования по молекулярной массе и ширине молекулярно-массового распределения, для их синтеза может быть применена контролируемая радикальная полимеризация с обратимой передачей цепи (ОПЦ) по механизму присоединения-фрагментации (RAFT полимеризация), которая позволяет осуществлять контроль над молекулярно-массовыми характеристиками полимера.

Одной из центральных проблем RAFT полимеризации является влияние передатчиков цепи на скорость реакции. Была изучена кинетика полимеризации 5-винилтетразола (5ВТ) и 2-метил 5-винилтетразола (2МВТ) в присутствии агента ОПЦ дибензилтретиокарбоната (БТК) и инициатора динитрила азобисизомаляной кислоты (ДАК) при одинаковом мольном соотношении БТК и ДАК к каждому из мономеров:  $[БТК]/[М]=2 \cdot 10^{-2}$ ,  $[ДАК]/[М]=2 \cdot 10^{-3}$ . Предельная конверсия 5ВТ составляет 60%, достигается за 2 часа, тогда как предельная конверсия 2МВТ 77% и достигается за 8 часов полимеризации. Количественной мерой эффективности ОПЦ-агента является константа передачи цепи ( $C_{tr}$ ). Чем значение константы выше, тем эффективнее ОПЦ-агент. Основываясь на начальном участке экспериментальной зависимости текущей концентрации БТК от конверсии мономера, когда передачей цепи на полимерный третиокарбонат еще можно пренебречь, проведена оценка значений  $C_{tr}$ , которые составили: для 5ВТ 2, для 2МВТ 3. Таким образом, БТК проявляет большую эффективность при полимеризации 2МВТ. Это связано с наличием электронодонорного эффекта у метильного заместителя 2МВТ, что делает его более активным мономером, для которых третиокарбонаты являются эффективными агентами ОПЦ.

### Список литературы:

- [1] Шурыгин М.Г., Шурыгина А.И. Патент РФ № 2624228. 2017. Бюл. № 79.  
[2] Кедик С.А., Свергун В. И. Черта Ю. В., Ярцев Е. И., Панов А. В. Патент РФ № 2415876. 2010. Бюл. № 10.

## ГРАФТ-СОПОЛИМЕРЫ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА И МАКРОМОНОМЕРОВ НА ОСНОВЕ D,L-ЛАКТИДА И ε-КАПРОЛАКТОНА

Ксендзов Е.А.<sup>1,2</sup>, Никишев П.А.<sup>1,2</sup>, Костюк С.В.<sup>1,2,3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Институт регенеративной медицины Первого московского медицинского университета имени И.М. Сеченова, г Москва  
zheniy-98@tut.by

(Co)полимеры N-изопропилакриламида (NIPAM) широко известны своей термочувствительностью в водных растворах. Ввиду нетоксичности, данные полимеры рассматриваются для доставки лекарств [1] и в клеточной инженерии [2]. В этих же областях применяют и (co)полимеры из полилактида (PLA) и поликапролактона (PCL) [3].

Был получен ряд макромономеров из D,L-лактида и ε-капролактона с молекулярной массой от 450 до 1200 г/моль с различными концевыми группами. RAFT-сополимеризацией таких макромономеров с NIPAM в различных соотношениях (от 30/1 до 5/1 по массе) были получены случайные графт-сополимеры с регулируемой нижней критической температурой растворения (НКТР) от 17 °С до 32 °С. При этом наблюдается общая тенденция к снижению НКТР при увеличении содержания макромономерных звеньев. Интересно, присутствие в боковых полиэфирных группах концевых гидроксильных групп приводит к существенно меньшему снижению НКТР, по сравнению графт-сополимерами с алифатическими концевыми группами в боковой цепи. Синтезированные графт-сополимеры, как правило, характеризуются более низкой НКТР по сравнению с PNIPAM, а также имеют лучшую адгезию к клеткам, что делает их перспективными для использования в регенеративной медицине, например, для получения клеточных пластов [4].

### Список литературы:

[1] *Convertine A.J., Ayres N., Scales Ch.W., Lowe A.B., McCormick Ch.L.* Biomacromolecules **5**, 1177 (2004).

[2] *Yamada N., Okano T., Sakai H., Karikusa F., Sawasaki Y., Sakurai Y.* Makromol. Chem., Rapid Commun. **11**, 571–576 (1990).

[3] *García-González C.A., Concheiro A., Alvarez-Lorenzo C.* Bioconjugate Chem. **26**, 1159 (2015).

[4] *Ksendzov E.A., Nikishau P.A., Zurina I.M., Presniakova V.S., Timashev P., Rochev Y.A., Kotova S., Kostjuk S.V.* ACS Appl. Polym. Mater. **4** (2), 1344–1357 (2022).

### Благодарности

Данная работа выполняется в рамках совместного проекта (X21PM-117), финансируемого Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Российским фондом фундаментальных исследований.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ОБОЛОЧКИ НА СВОЙСТВА БОР-ЗАМЕЩЕННЫХ КАРБОРАНКАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ

Кудрявцева А.И.<sup>1</sup>, Миняйло Е.О.<sup>2</sup>, Анисимов А.А.<sup>2</sup>, Зайцев А.В.<sup>2</sup>,  
Ольшевская В.А.<sup>2</sup>, Музафаров А.М.<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва

<sup>3</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва

anskudrsten@yandex.ru

Изучение зависимости свойств дендримеров от их внешней оболочки на примере структур типа «карбосилановое ядро – оболочка» позволяет установить взаимосвязь «структура – свойство», что, в свою очередь, позволяет получать различные элементоорганические соединения с заданными свойствами.

На первом этапе работы был синтезирован гомологический ряд новых бор-замещенных карборанкарбосилановых дендримеров типа «мягкое ядро – жесткая оболочка» [1]. Для дендримеров G<sub>0</sub>-4 cages, G<sub>1</sub>-8 cages, G<sub>3</sub>-32 cages и G<sub>5</sub>-128 cages были определены температуры стеклования, равные 54 °С, 46 °С, 40 °С и 33 °С соответственно.

Далее была проведена модификация внешней оболочки дендримеров путем введения гибкого силоксанового спейсера между карбосилановой и карборанильной составляющими для получения дендримеров типа «гибкое ядро – гибкая оболочка». Так, по реакции гидросилилирования аллильных групп карбосилановых дендримеров карборансилоксановым прекурсором [2] был получен новый гомологический ряд бор-замещенных карборанкарбосилансилоксановых дендримеров (рис. 1).

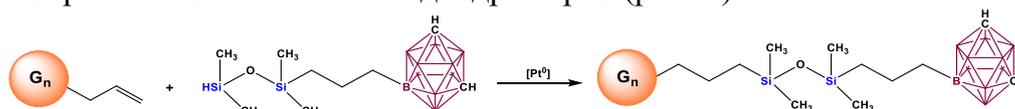


Рис. 1.

Для дендримеров G<sub>0</sub>(Si(Me)<sub>2</sub>OSi(Me)<sub>2</sub>)-4 cages, G<sub>2</sub>(Si(Me)<sub>2</sub>OSi(Me)<sub>2</sub>)-16 cages и G<sub>4</sub>(Si(Me)<sub>2</sub>OSi(Me)<sub>2</sub>)-64 cages были определены температуры стеклования, равные -51 °С, -44 °С, и -41 °С соответственно. Таким образом, было установлено, что именно тип карборановой оболочки оказывает определяющее влияние на свойства карборанкарбосилановых дендримеров.

### Список литературы:

[1] E.O. Minyaylo, A.A. Anisimov, A.V. Zaitsev, S.A. Milenin, P.A. Tikhonov, O.V. Vyshivannaya, V.A. Ol'shevskaya, G.G. Nikiforova, M.I. Buzin, A.S. Peregudov, A.M. Muzafarov. *React. Funct. Polym.* **157**, 104746 (2020).

[2] E. O. Minyaylo, A. I. Kudryavtseva, V. Y. Zubova, A. A. Anisimov, A. V. Zaitsev, V. A. Ol'shevskaya, F. M. Dolgushin, A. S. Peregudov, A. M. Muzafarov. *New J. Chem.* **46**, 11143 (2022).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант «РНФ № № 21-73-10178»).

## ПОЛУЧЕНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА

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

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород  
belved2014@ya.ru*

Псевдоживая радикальная полимеризация с обратимой передачей цепи (RAFT полимеризация) является одним из наиболее удобных способов контролируемой радикальной полимеризации, который показывает высокую эффективность в создании материалов с заданными свойствами [1].

Фторсодержащие полимеры обладают высокой химической стойкостью, низкой поверхностной энергией и гидрофобностью. N-винилпирролидон (NВП) является стабильным, гидрофильным соединением, которое показывает хорошую биологическую совместимость [2]. Опираясь на эти свойства, NВП отлично подходит для использования в качестве второго компонента амфифильных сополимеров. Одним из основных применений таких сополимеров может стать создание покрытий для изготовления биосенсоров, искусственных эндопротезов, митральных клапанов и других имплантатов, для которых недопустимо прилипание тромбообразующих компонентов [3].

Исследована сополимеризация 1,1,1,3,3,3-гексафторизопропилакрилата (ГФИПА) и 2,2,3,3,4,4,5,5-октафторпентилакрилата (ОФПА) с N-винилпирролидоном (NВП) в присутствии низкомолекулярного и высокомолекулярных RAFT-агентов на основе дибензилтретиокарбоната (БТК). Показан контролируемый характер процесса. Получены кривые состава сополимеров. Рассчитаны относительные активности мономеров. Установлено, что полученные сополимеры имеют тенденцию к чередованию.

Изучено поведение сополимеров на границе раздела фаз вода/воздух методом пленочных весов Ленгмюра. Рассмотрено влияние состава сополимеров и pH субфазы на поверхностные свойства сополимеров. В случае поли(NВП-со-ГФИПА) в кислой среде звенья NВП полностью ионизировались и погружались в субфазу перед сжатием барьеров, в нейтральной – частично, в щелочных условиях ионизация отсутствовала, а давление плато было выше, чем в остальных случаях. Для сополимеров поли(NВП-со-ОФПА) изменение среды на кислую слабо сказывалось на характере изотерм, возможно «перекрывание» гидрофильных звеньев NВП длинными фторированными цепями, которые затрудняют взаимодействие фрагментов NВП с водной субфазой.

Методом атомно-силовой спектроскопии исследована морфология плёнок Ленгмюра-Блоджетт различного состава. С изменением состава прослеживается изменение размеров мицелл.

### **Список литературы:**

- [1] Chernikova E.V., Sivtsov E.V. Polymer Science, Series B. **59**, 117 (2017).
- [2] Liu X., Xu Y., Wu Z., Chen X. Macromolar Bioscience. **13**, 147 (2013).
- [3] Zamyshlyayeva O.G., Lapteva O.S., Baten'kin M.A. Russian Chemical Bulletin, International Edition. **63** (8), 1823 (2014).

## КОНТРОЛИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ МЕТОДОМ RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛ-АКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ

Маратканов А.О., Быкова П.Н., Гостев А.И., Сивцов Е.В.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
artur.maratkanov@mail.ru*

Настоящая работа является частью комплекса исследований, посвященных изучению влияния микроstructures стирол-акриловых сополимеров на их свойства. Решение данной задачи стало возможным благодаря развитию техники контролируемой радикальной полимеризации, называемой RAFT полимеризацией. В работе рассматривается синтез сополимеров стирола (Ст) с акрилатами (*n*-бутилакрилат (*n*-БА) и пропилакрилат (ПА)) блочной и градиентной микроstructures, схожих по мономерному составу и длине цепи. На основе полистиролтретиокарбоната (ПСК), содержащего в среднем 67 звеньев Ст, с хорошим выходом (90%) были получены триблок-сополимеры Ст:*n*-БА и Ст:ПА, где между двумя фрагментами цепи исходного ПСК находится последовательность из 59 звеньев *n*-БА и 60 звеньев ПА, соответственно. Градиентная микроstructure была получена благодаря разноактивности мономеров при их одновременной загрузке (Рис. 1).

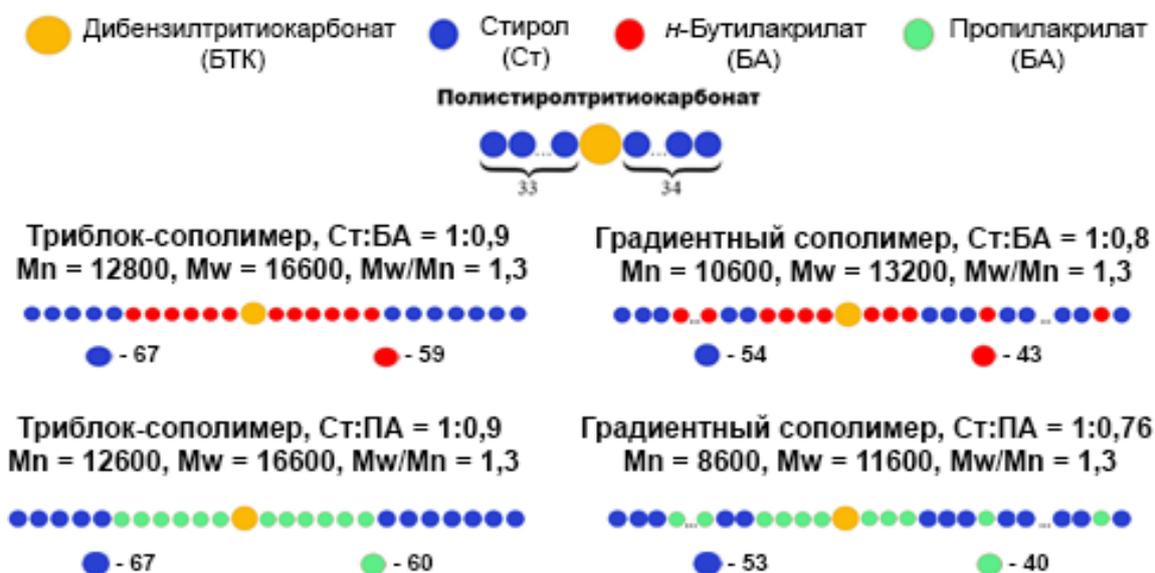


Рис. 1 - Микроstructure стирол-акриловых сополимеров.

Строение полученных сополимеров изучено с помощью спектроскопии ИК и ЯМР. Теплофизические свойства сополимеров исследованы методами дифференциальной сканирующей калориметрии и дериватографии.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание 0785.00.Х6019).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ Pd-КОМПЛЕКСОВ С АЦИКЛИЧЕСКИМИ ДИАМИНОКАРБЕНОВЫМИ ЛИГАНДАМИ КАК ПРЕДКАТАЛИЗАТОРОВ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 5-ЭТИЛИДЕН-2-НОРБОРНЕНА

Меденцева Е.И.<sup>1</sup>, Хрычикова А.П.<sup>1,2</sup>, Бермешева Е.В.<sup>1</sup>, Кинжалов М.А.<sup>3</sup>,  
Бермешев М.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, ВХК РАН,  
г. Москва*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет,  
г. Санкт-Петербург  
e.med@ips.ac.ru*

Аддитивная полимеризация производных норборнена приводит к полимерам, не содержащим двойные связи в основной цепи, и, как следствие, на основе этих полимеров возможно формирование термически и химически стабильных материалов. Кроме того, аддитивные полинорборнены обладают жесткими основными цепями, что может оказать положительное влияние на микроструктуру и свойства полимеров. Однако аддитивная полимеризация замещенных норборненов весьма чувствительна к наличию заместителей и является малоизученным процессом.

Ранее мы показали, что каталитические системы на основе палладиевых комплексов с N-гетероциклическими карбеновыми лигандами проявляют высокую активность и селективность в полимеризации производных норборнена, позволяя проводить реакцию в присутствии кислорода воздуха и следов воды [1].

В данной работе на примере модельной реакции аддитивной полимеризации бифункционального мономера – 5-этилиден-2-норборнена (ЭНБ) (рис. 1) впервые систематически исследована каталитическая активность и селективность новых систем на основе родственных палладиевых комплексов, содержащих ациклические диаминокарбеновые лиганды.

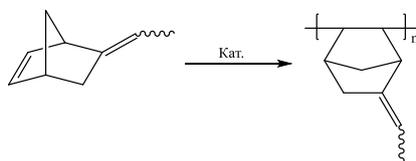


Рис. 1.

### Список литературы:

[1] *Bermesheva E.V., Wozniak A.L., Andreyanov A.F., Karpov G.O., Nechaev M.S., Asachenko A.F., Topchiy M.A., Melnikova E.K., Nelyubina Y.V., Gribov P.S., Bermeshev M.V. ACS catalysis* **10** (3), 1663 (2020).

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента №МД-497.2022.1.3.*

**СИНТЕЗ РАСТВОРИМЫХ ПОЛИ(ЭФИР-ИНДОЛОКАРБАЗОЛОВ) И ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

Нестерова А.С.<sup>1,2</sup>, Мягкова Л.А.<sup>1</sup>, Литвинова Л.С.<sup>1</sup>, Попова Е.Н.<sup>1</sup>, Иванов А.Г.<sup>1</sup>,  
Гофман И.В.<sup>1</sup>, Светличный В.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), факультет химической и биотехнологии,  
г. Санкт-Петербург  
annest.2107@yandex.ru*

Индоло[3,2-b]карбазолы являются классом конденсированных азотсодержащих гетероциклов, представители которого привлекают внимание исследователей благодаря широким перспективам их использования в качестве полупроводниковых материалов для различных устройств органической электроники и фотовольтаики [1]. Низкая растворимость индолокарбазолов – это основная причина, ограничивающая их применение. Основным методом для повышения растворимости является химическая модификация полимерной цепи с помощью введения в N-центры длинноцепочечных алкильных групп [2].

В работе осуществлен синтез индоло[3,2-b]карбазола, мономеров на основе полиэтиленгликолей различной молекулярной массы от 400 до 3000 с концевыми тозилными группами, сополимеров, содержащих в цепи индолокарбазол и фрагменты полиэтиленоксида. Синтезирована полимерная матрица для получения пленкообразующего материала, содержащего индолокарбазол. Строение синтезированных соединений подтверждено данными ИК- и ЯМР-спектроскопии. Термостойкость синтезированных сополимеров по данным ТГА составляет 235-353 °С, а теплостойкость изменяется от 32,3 до 56,5 °С в зависимости от молекулярной массы использованного полиэтиленгликоля. Получены пленкообразующие композиции поли(эфир-индолокарбазолов) на основе олигомерных этиленгликолей и синтезированной полимерной матрицы, характеризующиеся удлинением до 980 %, прочностью 3,91 МПа, модулем упругости 3,58 МПа.

**Список литературы:**

- [1] Li Y., Wu Y., Ong B.S. *Macromolecules* **39** (19), 6521 (2006).  
[2] Akimoto M., Nagase Y., Kawamoto M., Wada T. *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **34** (1), 141 (2009).

## ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ С РАСКРЫТИЕМ ЦИКЛА D,L-ЛАКТИДА, КАТАЛИЗИРУЕМАЯ КАРБОКСИЛАТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НИКЕЛЯ(II): ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ

Никифоров А.А.<sup>1</sup>, Панина Н.С.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1,3</sup>, Еремин А.В.<sup>1</sup>, Степанова М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии, г. Санкт-Петербург  
anikiforov71@gmail.com

Полилактид (ПЛА) – алифатический биосовместимый и биоразлагаемый полиэфир, нашедший многочисленные применения в пищевой и медицинской промышленности. В настоящее время подавляющее количество ПЛА синтезируется реакцией полимеризации с раскрытием цикла (ПРЦ) лактида (ЛА), катализируемой октоатом олова(II) в присутствии инициатора. Недостатками данного подхода являются токсичность катализатора, а также затрудненный контроль молекулярных масс и дисперсности получаемого ПЛА. Это приводит к актуальной проблеме разработки эффективных и малотоксичных катализаторов полимеризации ЛА, позволяющих получать полимеры с заданными молекулярно-массовыми характеристиками.

В настоящей работе исследована каталитическая активность новых моноядерных октаэдрических карбоксилатных комплексов никеля(II):  $[\text{Ni}(\text{DBED})_2(\text{Me}_3\text{CCO}_2)_2] \cdot \text{Me}_3\text{CCO}_2\text{H}$  (I) и  $[\text{Ni}(\text{DBED})_2(\text{CF}_3\text{CO}_2)_2] \cdot \text{C}_6\text{H}_6$  (II) (DBED - N,N'-дибензилэтилендиамин) в реакции ПРЦ D,L-лактида в расплаве мономера и в растворе толуола. Полученные образцы ПЛА охарактеризованы методами гель-проникающей хроматографии, масс-спектрометрии (ESI-MS) и <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии. С применением методов ESI-MS и <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии установлено, что в полученных образцах ПЛА концевой группой является N,N-диалкиллактамидный фрагмент, происходящий от выступающего в качестве инициатора DBED лиганда комплексов. Это свидетельствует о протекании ПРЦ ЛА без необходимости дополнительного введения в реакционную смесь инициатора. На основании полученных экспериментальных данных проведено квантово-химическое DFT моделирование механизма стадий иницирования и роста цепи реакции полимеризации ЛА, катализируемой комплексом I, с которым были получены наибольшие значения молекулярных масс ПЛА при высоких конверсиях мономера. Установлены интермедиаты реакции и соответствующие им переходные состояния, а также определены энергетические барьеры каждой стадии. Квантово-химические расчеты проводились с использованием программных комплексов ORCA 5.0.1 и ORCA 4.2.1, DFT методов PBE0 и B97-3c и базисного ряда def2-SVP.

### Благодарности

Масс-спектрометрические исследования были выполнены в РЦ МАСВ СПбГУ в рамках проекта РНФ № 21-73-20104.

## НОВЫЕ ПОЛИЭФИРИМИДЫ ТИПА ULTEM С БОКОВЫМИ ПРОПАРГИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

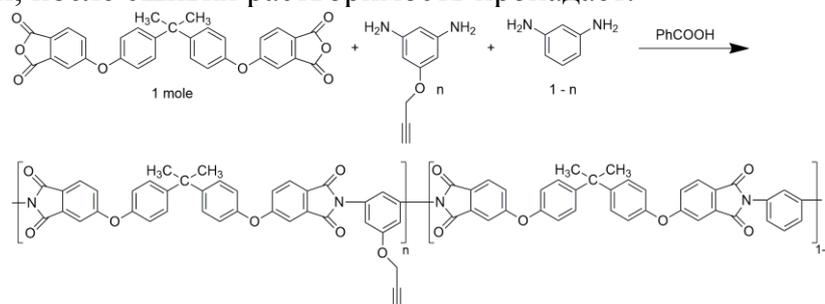
Орлова А.М.<sup>1</sup>, Колесников Т.И.<sup>1</sup>, Боченков В.С.<sup>2</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>МИРЭА-Российский технологический университет, г. Москва  
orlova\_am@ispm.ru

Ароматические полиимиды (ПИ) – широко известный класс термостойких полимеров с высокими физико-механическими характеристиками в широком диапазоне температур и отличной термической устойчивостью. На сегодняшний день является актуальной проблема компромиссного соотношения между высокими характеристиками и перерабатываемостью ПИ. Растворимость – важный параметр для успешной переработки полимера в изделие. Одним из наиболее широко используемых ПИ является органорастворимый Ultem™. Однако, вместе с улучшением растворимости происходит ухудшение химической стойкости полимера к агрессивным средам, что важно для многих высокотехнологичных применений. Поэтому актуальной является задача разработки хорошо растворимого полимера, который бы обладал высокой химической стойкостью к агрессивным средам.

В данной работе использовали новый мономер – 5-(2-пропин-1-илокси)бензола-1,3-диамин [1]. На основе данного диамина, м-фенилендиамина и 4,4'-(4,4'-изопропилидендифенокси)-бис-фталевого ангидрида была синтезирована серия полиимидов с содержанием боковых пропаргильных групп от 5 до 30 мол.%. Полимеры были охарактеризованы методами ИК-, ЯМР-спектроскопии и ГПХ. Методами ДСК и ИК-спектроскопии было показано, что после нагрева до 300 °С происходит сшивка по пропаргильным группам с образованием хроменого цикла [2]. Исходные полимеры хорошо растворяются в органических растворителях; после сшивки растворимость пропадает.



### Список литературы:

- [1] Kolesnikov, T. I., Orlova, A. M., Tsegelskaya, A. Y., Cherkaev, G. V., Kechekyan, A. S., Buzin, A. I., ... & Kuznetsov, A. A. European Polymer Journal. **161**, 110865 (2021).  
[2] Grenier-Loustalot, M. F., & Sanglar, C. European polymer journal. **33** (7), 1125-1134 (1997).

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-01173.

## ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА, СОДЕРЖАЩИХ ХЕЛТАТНЫЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ САЙТЫ

Пузырьков А.А.<sup>1</sup>, Попова Е.А.<sup>1,2</sup>, Еремин А.В.<sup>1</sup>

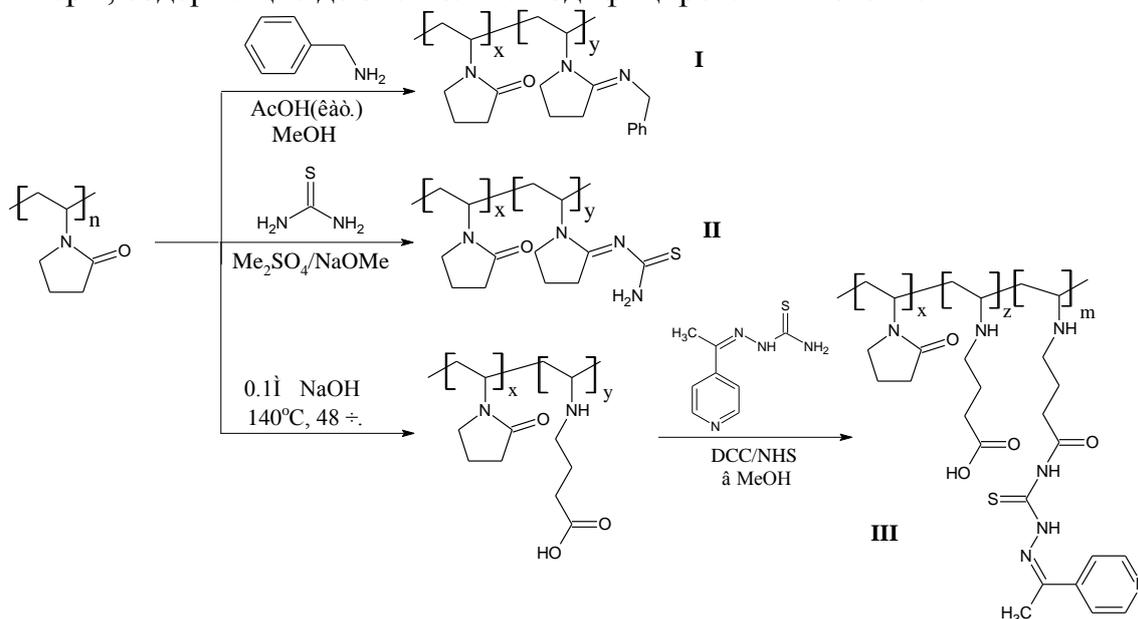
<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
artur.puzyrkov@yandex.ru

Модифицированные полимеры на основе поливинилпирролидона (ПВП), широко используемого в медицине и фармакологии, и содержащие координационные сайты могут быть интересны для задач биовизуализации или как носители ионов металлов для задач магнитной- или ПЭТ-томографии.

Мишенью для реакций модификации, в данном исследовании, являлась амидная группа  $\gamma$ -лактамного цикла, взаимодействие которой с N-нуклеофилами описано для модельных соединений – например N-алкилпирролидонов, но практически не исследовалось для полимеров, содержащих лактамные фрагменты. Предварительно, условия модификации были отработаны на модельном соединении – N-метил-2-пирролидоне, взаимодействие с которым привело к получению соответствующих производных, выделенных и охарактеризованных методами ИК- и ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии. Далее условия реакций переносились на медицинский ПВП и полученные продукты, содержащие 0,05% (I) и 4% мольн. (II) модифицированных групп, выделялись и охарактеризовывались методом ЯМР-спектроскопии.

Альтернативным путем модификации ПВП является присоединение аминокислотных фрагментов по карбоксилатной группе частично гидролизованного ПВП (соединение III). Данным способом можно получать полимеры, содержащие до 3% мольн. модифицированных звеньев.



## МОДИФИКАЦИЯ НЕФТЕПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОТИОЛИРОВАНИЯ И ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ

Ратников А.К.<sup>1</sup>, Крижановский И.Н.<sup>1</sup>, Темников М.Н.<sup>1</sup>, Анисимов А.А.<sup>1</sup>,  
Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва  
ratnikovak147@yandex.ru

Нефтеполимерные смолы (НПС) – синтетические термопластичные низкомолекулярные сополимеры, получаемые полимеризацией жидких продуктов пиролиза различных углеводородов. Широкие возможности НПС к модификации позволяют улучшать имеющиеся и добавлять новые свойства покрытиям на их основе [1], однако на данный момент в модификации НПС не были использованы реакции гидротииолирования и гидросилилирования. Исходя из информации о свойствах, которыми обладают покрытия на основе кремнийорганических соединений [2], можно предположить, что функционализация НПС кремнийорганическими соединениями способна существенно улучшить имеющиеся и придать новые свойства.

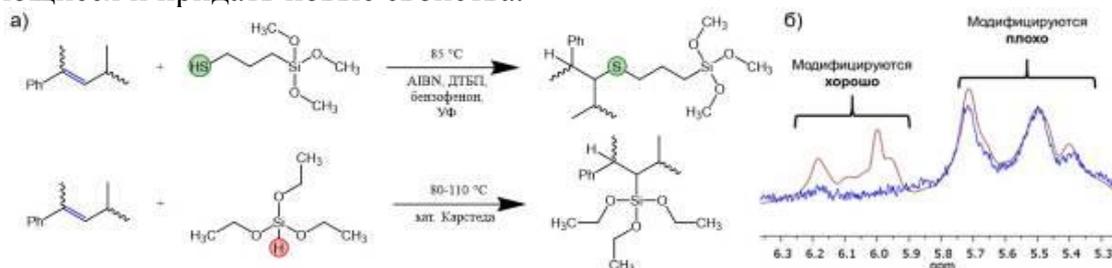


Рис. 1 - а) Реакции гидротииолирования и гидросилилирования смолы С9;  
б) наложенные сигналы двойных связей исходной смолы и модифицированной.

В качестве реагента для реакции гидротииолирования использовался меркаптопропилтриметоксисилан, а для реакции гидросилилирования триэтоксисилан. Модификации подвергали смолы С5 и С9, степень протекания реакции определяли по уменьшению сигналов двойных связей на ЯМР-<sup>1</sup>Н спектре. Реакции радикального гидротииолирования и каталитического гидросилилирования для модификации НПС были использованы впервые. Их сравнение показало, что более перспективным является гидротииолирование. Исследовано влияние различных растворителей и инициаторов на этот процесс. Оценена защитная способность покрытий на основе модифицированных НПС.

### Список литературы:

- [1] Царева Е. Е. Вестник Казанского технологического университета **15** (7), 163-167 (2012).  
[2] Petrunic M.A., Gladkikh N.A., Maleeva M.A., Maksaeva L.B., Yurasova T.A. Int. J. Corros. Scale Inhib, **8** (4), 882–907 (2019).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 18-73-10153.

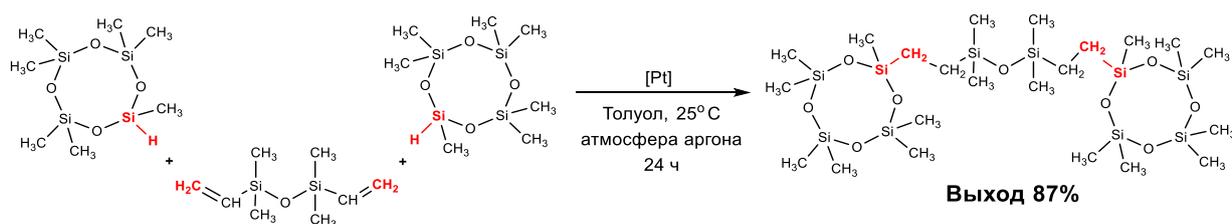
## СИНТЕЗ НОВОГО БИЦИКЛИЧЕСКОГО ОЛИГОСИЛОКСАНА ПО РЕАКЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ

Рашевский А.А., Дерябин К.В., Исламова Р.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,  
г. Санкт-Петербург  
artem\_rashevskiy@mail.ru

В 1954 году для полисилоксанов, синтезированных по механизму анионной полимеризации, было открыто силоксановое равновесие — равновесие между «живыми» анионными центрами и силоксановыми цепями [1]. Силиконовые материалы, полученные данным способом, обладают свойством самозалечивания (self-healing). В литературе [1,2,3] известны методы их получения, основанные на механизме анионной сополимеризации октаметилциклотетрасилоксана (D<sub>4</sub>) с 1,2-бис(гептаметилциклотетрасилоксан-1-ил)этаном (бис-D<sub>4</sub>) — сшивающим агентом, который образуется *in situ*. Для синтеза бис-D<sub>4</sub> использовался пероксид бензоила, который является взрывоопасным веществом и требует специальных условий хранения.

В связи с этим, нами был разработан более простой способ получения сшивающего агента — 1,3-бис(2-(гептаметилциклотетрасилоксан-1-ил)этил)тетраметилдисилоксана. Для этого использовалась реакция каталитического гидросилилирования между гептаметилциклотетрасилоксаном и 1,1,3,3-тетраметил-1,3-дивинилдисилоксаном в присутствии катализатора Карстедта. Реакция проводилась в инертной атмосфере при комнатной температуре, в качестве растворителя был выбран толуол. Структура полученного соединения была надежно подтверждена методами ЯМР-спектроскопии (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C и <sup>29</sup>Si) и масс-спектрометрии.



### Список литературы:

- [1] Zheng, P.; McCarthy, T. J. *Journal of the American Chemical Society* **134** (4), 2024-2027 (2012).  
 [2] Moskalenko, Y. E.; Bagutski, V.; Thiele, C. M. *Chem. Commun.* **1**, 95-98 (2017).  
 [3] Schmolke, W.; Perner N.; Seiffert, S. *Macromolecules* **48** (24), 8781-8788 (2015).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-19-00256) с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ («Магнитно-резонансные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», и «Образовательный ресурсный центр Института Химии»).

## КАРБОСИЛАНОВЫЕ ДЕНДРИМЕРЫ С ЖЁСТКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ ФРАГМЕНТАМИ

Сухова Е.А.<sup>1</sup>, Краснова И.Ю.<sup>1</sup>, Ардабьевская С.Н.<sup>2</sup>, Миленин С.А.<sup>2</sup>, Бакиров А.В.<sup>2,3</sup>,  
Серенко О.А.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>2</sup>, Шифрина З.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, г. Москва

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, г. Москва

<sup>3</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва  
с.sukhova@yandex.ru

Гибридные полимерные системы, сочетающие блоки различной жёсткости, представляют собой удобную синтетическую платформу для создания материалов с требуемыми свойствами [1-2]. Настоящее исследование посвящено синтезу и исследованию свойств карбосилановых дендримеров 1-й и 2-й генерации с полифениленовыми фрагментами на периферии (Рис. 1).

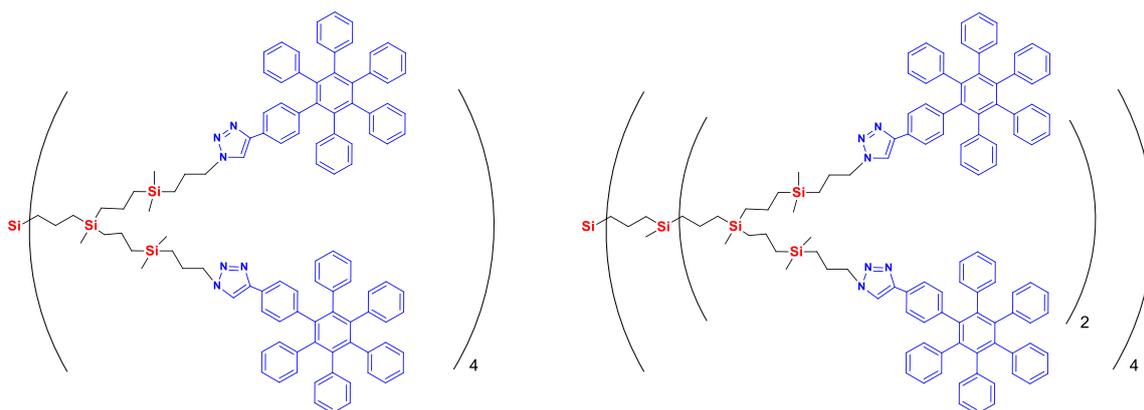


Рис. 1 - Структура гибридных дендримеров.

В работе показано влияние жёстких ароматических фрагментов на термические свойства, фазовое поведение и молекулярную организацию карбосилановых дендримеров. С помощью метода малоуглового рентгеновского рассеяния установлено, что макромолекулы формируются в упорядоченные структуры колоночного типа.

### Список литературы:

[1] Milenin S.A., Cherkaev G.V., Demchenko N.V., Serkova E.S., Krasnova I.Yu., Selezneva E.V., Buzin M.I., Bakirov A.V., Vasil'ev V.G., Shifrina Z.B., Chvalun S.N., Muzafarov A.M. *Macromolecules* **53**, 9706 (2020).

[2] Serkova E.S., Krasnova I.Yu., Milenin S.A., Selezneva E.V., Tatarinova E.A., Boldyrev K.L., Korlyukov A.A., Zubavichus Y.V., Buzin M.I., Serenko O.A., Shifrina Z.B., Muzafarov A.M. *Polymer* **138**, 83 (2018).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 20-13-00025).

## КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ТРАНС-АНЕТОЛА В ПРИСУТСТВИИ КОМПЛЕКСА $AlCl_3 \times OPh_2$

Трофимук Д.В.<sup>1,2</sup>, Гульник М.И.<sup>1,2</sup>, Кухаренко О.В.<sup>1,2</sup>, Василенко И.В.<sup>1</sup>,  
Костюк С. В.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, химический факультет,  
г. Минск

*dianatrofimuk2002@gmail.com*

В настоящее время интенсивно развивающемся направлением в области полимерной химии является синтез полимеров на основе соединений из возобновляемого растительного сырья. Данная работа посвящена катионной полимеризации *транс*-анетола, представителя класса фенолпропаноидов, который является основным компонентом (> 80%) эфирных масел аниса и фенхеля (рисунок 1). [1].

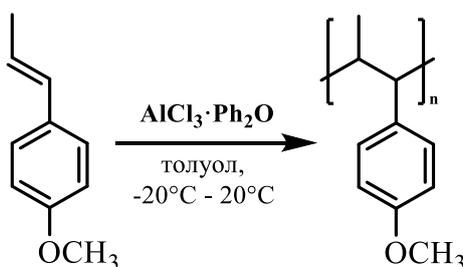


Рис.1 - Катионная полимеризация *транс*-анетола.

Катионную полимеризацию анетола исследовали в присутствии гомогенного каталитического комплекса на основе хлорида алюминия и дифенилового эфира ( $AlCl_3 \times OPh_2$ ) в среде толуола в широком температурном диапазоне (от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ ) [1]. В оптимальных условиях ( $[AlCl_3 \times OPh_2] = 13$  ммоль/л и  $-20^{\circ}\text{C}$ ) были синтезированы полианетола с молекулярной массой выше 20000 г/моль и умеренно высоким коэффициентом полидисперсности ( $\bar{M}_w \sim 3,3$ ). Структура синтезированных полианетола была исследована методами спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$  и масс-спектрометрии MALDI-TOF. Согласно масс-спектру MALDI-TOF все цепи полианетола образованы за счёт протонного инициирования и содержат в концевой группе двойную связь или индановую структуру. С помощью методов ТГА и ДСК было показано, что полученные по катионному механизму полианетола характеризуются высокой термической стабильностью ( $T_d > 380^{\circ}\text{C}$ ) и температурой стеклования ( $T_g > 237^{\circ}\text{C}$ ), значения которых выше по сравнению с соответствующими характеристиками коммерческих полистирола и полиметилметакрилата.

### Список литературы:

[1] Hulnik M.I., Kuharenko O.V., Timashev P., Vasilenko I.V., Kostjuk S.V. European Polymer Journal **165** (2022).

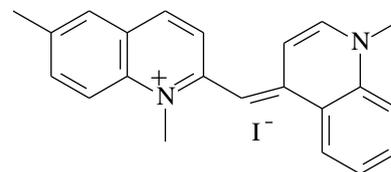
## ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С УЧАСТИЕМ СИСТЕМЫ ЦИАНИЗОПРОПИЛ ЙОДИСТЫЙ / ПИНАВЕРДОЛ

Чеснокова К.Е., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б., Гришин Д.Ф.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород  
vaganova\_lb@mail.ru*

Органокаталитические процессы с участием йодорганических соединений, не смотря на очевидные недостатки, являются примером высокоэффективных и относительно дешевых методов получения высокомолекулярных соединений в контролируемом режиме [1].

Целью представленной работы явилось изучение процессов фотополимеризации метилметакрилата (ММА), инициируемых цианизопропил йодистым (СР-I), в присутствии пинавердола (ПН). Синтез проводили в диметилсульфоксиде (ДМСО), диметилацетамиде (ДМАА) или диметиловом эфире диэтиленгликоля (ДГ). Объемное соотношение мономер / растворитель составляло 1 / 1. Реакционная среда облучалась желтым светом, источником излучения служила LED лента с диодами типа 3528.



*Пинавердол (ПН)*

Реакционная среда облучалась желтым светом, источником излучения служила LED лента с диодами типа 3528.

Фотополимеризация ММА при мольном соотношении ММА / СР-I, равном 1000 / 1, в отсутствие растворителя и комплексообразователей проходит с низкой скоростью и конверсией не выше 50%, что хорошо согласуется с литературными данными [2]. Значения среднечисленных молекулярных масс ( $M_n$ ) при этом несколько превышают теоретически рассчитанные, а коэффициенты полидисперсности ( $\bar{D}$ ) по ходу процесса увеличиваются до 1.70. Растворная полимеризация ММА проходит с меньшей общей скоростью, а добавление ПН снижает выходы ПММА относительно процессов с участием одного СР-I.

При мольном соотношении ММА / СР-I / ПН, равном 1000 / 1 / 0.1, в среде ДМСО общая скорость полимеризации выше, чем в ДГ и ДМАА. Выходы полиММА за 15 часов составляют ~ 30% в ДМСО и ~ 20% в ДГ и ДМАА соответственно.

Молекулярно-массовые характеристики полиММА зависят от природы растворителя. Так, кривые молекулярно-массового распределения образцов полиММА, полученных в ДМСО, бимодальны. С течением времени наблюдается снижение среднечисленной молекулярной массы ( $M_n$ ) за счет увеличения вклада низкомолекулярной моды.

Для процессов в ДГ и ДМАА характерен строго линейный рост с увеличением конверсии, хорошая корреляция экспериментальных и теоретически рассчитанных значений  $M_n$ , а также снижение  $\bar{D}$  с 1.33 до 1.16.

### Список литературы:

- [1]. Corbin D.A., Miyake G.M. Chem. Rev. **122**, 1830 (2022).  
[2]. Ohtsuki A., Goto A., Kaji H. Macromolecules, **46**, 96 (2013).

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №20-03-00150).*

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИФЕНИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПРЕКУРСОРОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ

Шакирова А.Р.<sup>1,2</sup>, Ершова Т.О.<sup>1</sup>, Анисимов А.А.<sup>1</sup>, Манохина Е.А.<sup>1</sup>,  
Щеголихина О.И.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений РАН, г. Москва

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

<sup>3</sup>Институт синтетических полимерных материалов РАН, г. Москва  
*albina.shakirova@yandex.ru*

Лестничные полифенилсилсесквиоксаны – важный класс кремнийорганических соединений, обладающий рядом ценных физико-химических свойств. Классический способ получения л-ПФСС представляет собой трехстадийный процесс, который требует проведения реакции в жестких условиях с использованием различных органических растворителей и катализаторов. Таким образом, поиск новых методов получения полимеров данного класса является актуальной задачей. Ранее в лаборатории кремнийорганических соединений ИНЭОС РАН был впервые разработан и оптимизирован метод синтеза л-ПФСС путем конденсации *cis*-[PhSi(O)OH]<sub>4</sub> в среде аммиака, который выступает в качестве растворителя и катализатора процесса [1-2].

Целью данной работы является синтез и исследование свойств л-ПФСС, полученных из прекурсоров различного строения. В качестве исходных мономеров нами были выбраны *cis*-[PhSi(O)OH]<sub>6</sub>, *tris-cis-tris-trans*-[PhSi(O)OH]<sub>12</sub> и PhSi(OH)<sub>3</sub> (Рис. 1). В результате работы были получены растворимые высокомолекулярные л-ПФСС, способные образовывать прозрачные, прочные пленки. Структура и свойства синтезированных полимеров были исследованы комплексом физико-химических методов анализа.

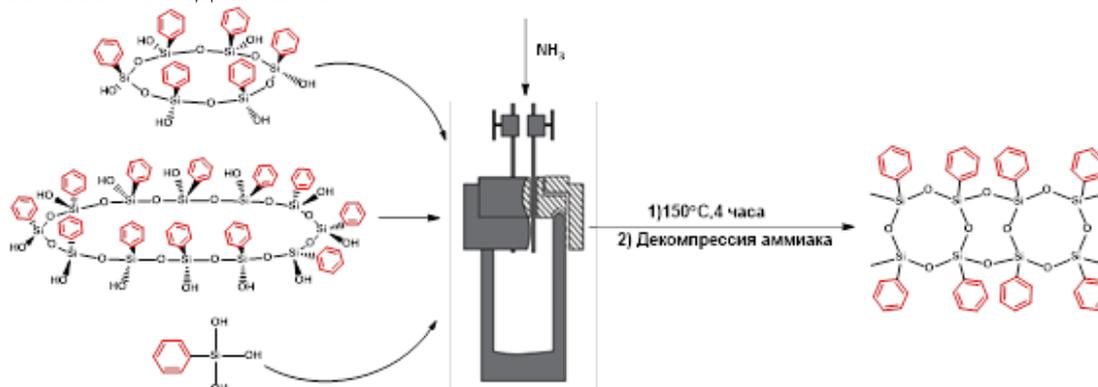


Рис.1. - Общая схема синтеза л-ПФСС в среде аммиака.

### Список литературы:

- [1] A. A. Anisimov *et al.* Mendeleev Commun. **29**, 421–423 (2019).  
[2] T.O. Ershova *et al.* Polymers **13**, 4452 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ № МК-3534.2022.1.3.

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ НА ОСНОВЕ 3,4-ОКСИДАНИЛИНА

Шамсутдинова Р.Н.<sup>1,2</sup>, Солдатова А.Е.<sup>1</sup>, Монахова К.З.<sup>1</sup>, Ханин Д.А.<sup>3</sup>, Бурть Е.С.<sup>4</sup>,  
Плиско Т.В.<sup>4</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова МИРЭА  
Российского Технологического Университета, г. Москва*

<sup>3</sup>*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова  
Российской академии наук, г. Москва*

<sup>4</sup>*Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск  
89209301573@yandex.ru*

Ароматические полиимиды (ПИ) – класс полимеров, обладающих уникальным комплексом свойств, такие как высокая термостойкость и теплостойкость, химическая стойкость, отличные механические свойства, радиационная стойкость и т.д. Благодаря такому набору свойств они традиционно используются в составе конструкционных материалов в таких областях как авиа-, машиностроение, электроника, кабельная изоляция и т.д. [1] Однако ароматические ПИ обладают серьезными недостатками – плохая растворимость в обычных органических растворителях и плохая перерабатываемость. В связи с этим актуальной задачей является поиск новых структур для получения хорошо растворимых и перерабатываемых полиимидов без потери термических и других эксплуатационных характеристик.

В данной работе была синтезирована и исследована серия ароматических полиимидов на основе коммерчески доступного несимметричного диамина 3,4-оксидаанилина (3,4-ОДА) методом высокотемпературной каталитической поликонденсации [2]. Ожидается, что использование ароматического диамина несимметричной структуры увеличит конформационную гибкость полимерной цепи и положительно повлияет на растворимость и перерабатываемость. Полученные ПИ были исследованы различными методами (ИК и <sup>1</sup>H-ЯМР спектроскопия, ДСК, ТМА, ГПХ, ШУРР). Кроме этого, в качестве мембран для разделения смеси изопропиловый спирт-вода методом вакуумной первапорации были изучены синтезированные ПИ, растворимые в низкокипящих растворителях.

### Список литературы:

[1] Михайлин, Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. Санкт-Петербург, Профессия, 2006.

[2] Kuznetsov A.A. High Performance Polymers **12** (3), 445 (2000).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 20-53-04022 и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант №X21PM-058.

**ПОЛИМЕРНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ЧАСТИЦ  
«ЯДРО/ОБОЛОЧКА»: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ**

Юрасова Д.И.<sup>1</sup>, Шабсельс Б.М.<sup>1</sup>, Уклеев Т.А.<sup>2</sup>, Шевченко Н.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
shevaldysheva@gmail.com*

Монодисперсные частицы типа «ядро/оболочка» с жестко-сшитым полимерным ядром и не сшитой оболочкой, на основе термопластичных полимеров, могут быть использованы для формирования трехмерно-упорядоченных структур, проявляющих фотонно-кристаллические свойства. Положение фотонной запрещенной зоны для таких пленочных структур будет зависеть от внешнего воздействия (температуры, давления), что в свою очередь позволяет рассматривать полимерные фотонные кристаллы в качестве метаматериалов при конструировании сенсорных датчиков.

С целью получения многослойных монодисперсных полимерных частиц, способных к самосборке в трехмерно-упорядоченные структуры, были синтезированы частицы со структурами «ядро/оболочка» и «ядро/промежуточный слой/оболочка». В качестве ядер использовали монодисперсные полимерные частицы на основе сополимера стирола с метакриловой кислотой (П(Ст-МАК)), покрытые оболочкой сополимера стирола с дивенилбензолом (П(Ст-ДВБ)). Далее методом затравочной полимеризации были получены частицы типа «ядро/оболочка», содержащие в оболочке полимеры эфиров акриловых кислот, относящихся к классу эластомеров (поливинилацетат, полиэтил акрилат). В случае частиц типа «ядро/промежуточный слой/оболочка» синтез включал в себя промежуточную стадию получения оболочки на основе метилметакрилата.

Изучено влияние природы полимера оболочки, рН дисперсионной среды и температуры (в диапазоне от 25 до 70 °С) на процесс самоорганизации полученных частиц в трехмерно-упорядоченные пленки. Для полученных частиц была изучена температура стеклования ( $T_g$ ) и показано ее влияние на степень упорядоченности пленок. 3D структура полученных образцов была подтверждена методом сканирующей электронной микроскопии. Также для сформированных структур были экспериментально изучены спектры брэгговского отражения света.

Таким образом, показана возможность синтеза монодисперсных частиц сложной морфологии с последующим формированием пленочных опалоподобных структур на их основе, проявляющих фотонно-кристаллические свойства.

**СЕКЦИЯ 2**  
***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## ВЛИЯНИЕ НАНООРГАНИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ НА ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

Базарова В.Е., Соколова Л.В.

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

Особенности вулканизации в существенной степени зависят от химического строения макромолекул полимера и химической природы вулканизирующей системы. Однако во время синтеза полимера формируется его nanoорганизация, имеющая термодинамическую природу. Nanoорганизация вмещает содержание и размер упорядоченных образований, их возможное расположение в объеме полимера, плотность упаковки проходных цепей в неупорядоченной части, что и определяет степень ее упорядоченности [1].

Температурные зависимости скорости вулканизации каучуков хиноловым эфиром (ХЭФ) имеют нелинейный характер в интервале 110-160°C, обнаруживая резкий рост с 125°C в случае СКД, 135°C – СКИ, 145°C – СКБ и 150°C – БК. Энергия активация процесса сшивания растет в ряду каучуков: СКБ (84 кДж/моль), СКИ (111 кДж/моль), СКД (118 кДж/моль) и БК (120 кДж/моль) и зависит, в первую очередь, от геометрии двойной связи.

Введение стеариновой кислоты с целью возможного увеличения растворимости ХЭФ в каучуках позволило выявить влияние фазовых переходов СКД, СКБ и БК на этот процесс (рис. 1). Температуры переходов каучуков связаны с их температурой стеклования ( $T_c$ ) уравнением:

$$T_i = \{[1.2 + 0.2(i-2)] \pm 0.05\} T_c \quad [1].$$

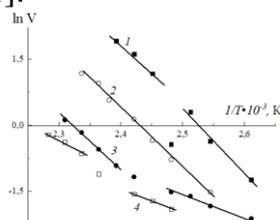


Рис. 1 – Температурные зависимости скорости сшивания макромолекул каучуков: СКД (1), СКИ (2), СКБ (3) и БК (4) хиноловым эфиром в присутствии стеариновой кислоты.

Температурные зависимости степени сшивания вулканизатов имеют экстремальный характер, который также обусловлен проявлением фазовых переходов каучуков. Резкое уменьшение степени сшивания макромолекул каучуков коррелирует с положением об особенности фазовых переходов - увеличении свободного объема в неупорядоченной части их nanoорганизации вследствие увеличения размера упорядоченных образований при одновременном уменьшении их содержания [1]. Это обуславливает уменьшение фактической концентрации ХЭФ в полимерной матрице. Анализ ИК-спектров вулканизатов, полученных при 120°C и 150°C, позволил в первые установить двухстадийный механизм процесса сшивания макромолекул каучуков ХЭФ.

### Список литературы:

[1] Соколова Л.В. Высокмолекулярные соединения. А. **59**, 98 (2017).

2-О-02

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРРАЗВЕТВЛЕННЫХ АМИНОЭФИРОВ БОРНОЙ КИСЛОТЫ В КАЧЕСТВЕ МЕМБРАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сазонов О.О.<sup>1</sup>, Каюмов М.Н.<sup>1</sup>, Давлетбаев Р.С.<sup>2</sup>, Панов Н.М.<sup>1</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань

<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань  
sazonov.oleg2010@gmail.com

В последнее десятилетие внимание исследователей привлекают пористые материалы с регулируемым размером пор и химическим строением их внутренней полости. Области применения таких материалов связаны с микрофильтрацией, созданием высокоэффективных и селективных газоразделительных мембран. Один из наиболее развиваемых подходов в этом направлении связан с синтезом наноструктурированных полимеров со сложной архитектурой макромолекул – гиперразветвленных полимеров. Важное значение здесь имеет создание пространственных затруднений и структурных элементов, делающих невозможной компактную упаковку макромолекул в пространстве. Перспективными в этом направлении оказались полиуретаны, получаемые на основе гиперразветвленных аминоэфиров борной кислоты (АЭБК). Поэтому синтез и изучение физико-химических, газотранспортных свойств полимеров на основе АЭБК является актуальной задачей.

На основе диглицидилового эфира 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана (эпоксидной смолы ЭД-20) и моноэтаноламина (МЭА) синтезирован аддукт (ЭМ) для введения в гиперразветвленную структуру АЭБК. На основе соответствующих АЭБК-ЭМ были синтезированы полиуретановые пленочные материалы (АЭБК-ЭМ-ПУ). Показано, что АЭБК-ЭМ-ПУ проявляют относительно высокие значения механической прочности и модуль Юнга, которые меняются не аддитивно росту содержания ЭМ. Установлено, что паропроницаемость и газотранспортные свойства АЭБК-ЭМ-ПУ возрастают с повышением содержания модификатора ЭМ. Согласно полученным результатам изменения значений коэффициентов проницаемости и идеальной селективности для различных пар газов от содержания ЭМ проявляют неаддитивный характер. Полученные результаты согласуются с данными механических и физико-химических испытаний и подтверждают выводы об иерархической организации надмолекулярной структуры АЭБК-ЭМ-ПУ и обусловленными этим обстоятельством размерами и химическим строением поверхности пор. Проявление же полимерными пленочными образцами высоких значений паропроницаемости свидетельствует о том, что граница раздела между порами является гидрофильной. Это обстоятельство является дополнительным подтверждением объединения полиоксиэтиленовой составляющей в собственную микрофазу, создающую условия для формирования в АЭБК-ЭМ-ПУ макроразмерных пор и определяющую ее место в построении надмолекулярной структуры.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 19-19-00136.*

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГИДРОКСИЭТИЛ(МЕТ)АКРИЛАТА С АКРИЛАМИДОМ

Нохрин К.А., Сафронов А.П.

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
nohrin.kostia@mail.ru*

На данный момент гидрогели активно используются в различных областях медицины, биоинженерии, биотехнологии и промышленности. В качестве контактных линз, средств для контролируемой доставки лекарств, пластырей для заживления ран, инкапсуляции клеток, подложки для регенерации тканей, различных имплантатов и многого другого. Широко распространенным примером исследований являются полиакриламидные (ПАА) гидрогели, которые термически стабильны и химически инертны. Интерес как объект фундаментальных и прикладных исследований также вызывают гидрогели на основе полигидроксиэтилакрилата (ПГЭА) и полигидроксиэтилметакрилата (ПГЭМА). В частности, благодаря хорошей биосовместимости этих полимеров.

Целью данной работы является изучение степени набухания и энтальпии взаимодействия сополимеров поли(гидроксиэтилакрилата и акриламида) П(ГЭА-АА) и поли(гидроксиэтилметакрилата и акриламида) П(ГЭМА-АА) с водой, а также механических свойств гидрогелей данных сополимеров.

Гидрогели синтезировали в водном растворе (1.6 М) смесей акриламида (АА) с 2-гидроксиэтилакрилатом (ГЭА), и акриламида (АА) с 2-гидроксиэтилметакрилатом (ГЭМА) в мольном соотношении компонентов от 0 до 100 %. Метилендиакриламид (МДАА) использовали в качестве сшивающего агента в мольном соотношении к смеси мономеров 1:100. Пероксодисульфат аммония (ПСА) применяли в качестве инициатора реакции полимеризации. Синтез проводили при комнатной температуре с использованием ускорителя N,N,N',N'-тетраметил-1,2-этилендиамина (ТЕМЕД).

Гидрогели сополимеров П(ГЭА-АА) гомогенны во всем диапазоне мольных соотношений компонентов. В то же время гидрогели сополимеров П(ГЭМА-АА) гомогенны только при содержании АА от 50 до 100 %, а при содержании АА менее 50 % - гетерогенны. Степень набухания сополимеров увеличивается с увеличением содержания акриламида (АА). Энтальпия набухания в воде для ПГЭА обусловлена только межмолекулярным взаимодействием между полимером и водой. С другой стороны, в системах ПГЭМА–вода и ПАА–вода она, в основном, обусловлена релаксацией стеклообразной структуры, и значительно больше по абсолютной величине энтальпии межмолекулярного взаимодействия. Набухание гелей сополимеров носит экзотермический характер, который усиливается при увеличении содержания АА. Модуль упругости гелей сополимеров не проявляет аддитивных свойств. Для сополимеров П(ГЭА-АА) модуль уменьшается при введении акриламида. В свою очередь, в сополимерах П(ГЭМА-АА) при введении звеньев АА модуль изменяется по кривой с максимумом, приходящимся на границу области гомогенности.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 20-12-00031).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В НАНОВОЛОКНАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА МЕТОДОМ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ

Абдурахманов М.Г.<sup>1</sup>, Собола Д.С.<sup>1,2</sup>, Рабаданов К.Ш.<sup>3</sup>, Оруджев Ф.Ф.<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Дагестанский Государственный Университет, г. Махачкала

<sup>2</sup>Брненский технологический университет, г. Брно

<sup>3</sup>Аналитический центр коллективного пользования ДФИЦ РАН, г. Махачкала

<sup>4</sup>Институт физики им. Х.И. Амирханова ДФИЦ РАН, г. Махачкала

*abdurakhmanov230218@gmail.com*

Поливинилиденфторид (ПВДФ) пьезоэлектрический полимер, с сильными электроактивными свойствами и хорошей износостойкостью, что дает возможность использовать его для сбора механической энергии и в качестве пьезоэлектрического катализатора [1]. Он относится к классу полукристаллических полимеров с долей кристалличности около 50%. Одним из особенностей, определяющих его применимость в той или иной области является наличие сегнетоэлектричества. Однако это зависит от того в какой фазе он кристаллизован. Есть 5 фаз  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и  $\epsilon$  [2]. Сегнетоэлектрические свойства ПВДФ объясняются наличием полярных кристаллических фаз, такие как  $\beta$ -фаза и  $\gamma$ -фаза, среди которых  $\beta$  показывает наибольший электрический дипольный момент. Поляризованность самого полимера зависит от многих факторов таких как метод синтеза, добавление наполнителей или сополимеров и т.д.

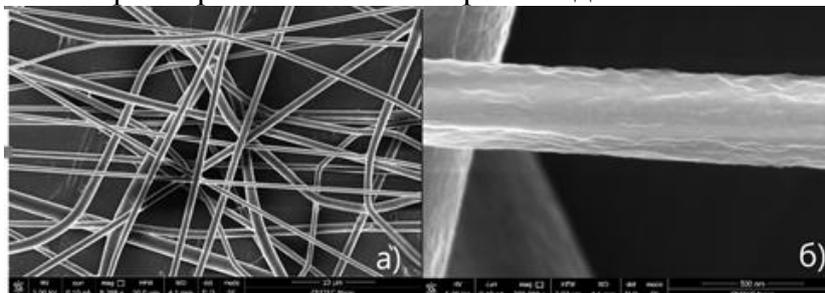


Рис. 1 – а, б) СЭМ изображения нановолокон ПВДФ.

Синтезированы (рис.1 а, б) нановолокна ПВДФ методом электропрядения, в которых доля электроактивных  $\beta$ - и  $\gamma$ -фаз составляет 93,36%. Методом ИК-Фурье спектроскопии с In-Situ нагревом исследованы особенности фазовых трансформаций в полимере. Установлено, что нагрев от 35 до 150 градусов способствует изменению в соотношении  $\beta/\gamma$  фаз с 23 до 7. Причем соотношение доли электроактивной фаз и неполярной фазы практически не меняется.

### Список литературы:

[1] Orudzhev F., Ramazanov Sh., Sobola D., Kaspar P., Trčka T., Částková K., Kastyl J., Zvereva I., Wang Ch., Selimov D., Gulakhmedov R., Abdurakhmanov M., Shuaibov A., Kadiev M., Nano Energy. **90**, 106586 (2021).

[2] Lu L., Ding W., Liu J., Yang B., Nano Energy. **78**, 105251 (2020).

## ГИДРОФОБНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АМФИФИЛЬНЫХ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ СОПОЛИМЕРАХ

Гостева А.А., Окатова О.В., Гаврилова И.И., Добродумов А.В.,  
Панарин Е.Ф., Павлов Г.М.

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

Предложен новый экспериментальный способ оценки внутримолекулярных гидрофобных взаимодействий. Метод основан на измерении вязкого течения растворов полимеров и анализе зависимости  $\ln\eta_r$  от степени разбавления  $c[\eta]$  [1, 2]. Положительный знак *второй производной* зависимости указывает на наличие ассоциирующих групп в системе (проявление гидрофобности), для несамоассоциирующих полимеров наблюдается отрицательный знак. В работе исследован ряд амфифильных сополимеров N-метил-N-винилацетамида и N-метил-N-виниламина (С12), содержащих 12 углеродных атомов в боковой цепи, с фиксированной плотностью заряда и степенью алкилирования 15%. Сополимеры С12 синтезированы из гомополимера N-метил-N-винилацетамида путем частичного гидролиза до содержания заряженных звеньев 15 мол. %, а затем алкилированы йодистым алкилом. Содержание алкильных групп в сополимерах определяли аргентометрическим титрованием ионов йода на кондуктометре ТВЛ-1. Наличие гидрофобного бокового радикала доказано ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопией. В спектре сополимера МВАА-МВА  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}$  наблюдаются характерные сигналы:  $-\text{CH}_2-$  группы  $\delta$  1.38 ppm и  $-\text{CH}_3-$  группы  $\delta$  0.97 ppm. Конформации и размеры сополимеров С12 в растворах определяются конкуренцией электростатических и гидрофобных взаимодействий. В бессолевых растворах преобладают первые. При их практическом подавлении в 0.1М NaCl, благодаря наличию гидрофобной части достаточной длины, макромолекулы сополимеров способны к образованию мицеллярных областей/доменов в водной среде. Образцы исследовали методами вискозиметрии, скоростной седиментации и поступательной диффузии в 0.1 М NaCl при 25°C. Молекулярные массы рассчитывали из данных седиментационно-диффузионного анализа по уравнению Сведберга. Среднее значение гидродинамического инварианта  $A_0$  для сополимеров С12 составляет  $A_0=2.74\times 10^{10}$  гсм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>Кмоль<sup>1/3</sup>, что меньше, чем для линейных гибкоцепных полимеров ( $A_{0\text{lin}}=3.3$ ). Близкие значения  $A_{0\text{Br}} = (2.6\pm 0.4)$  наблюдались для дендримеров и сверхразветвленных макромолекул [3, 4].

### Список литературы:

- [1] Pavlov G., Gosteva A., Okatova O., Dommes O., Gavrilova I., Panarin E. Polymer Science, Series A. **63**, 1 (2021)
- [2] Pavlov G., Gosteva A., Okatova O., Dommes O., Gavrilova I., Panarin E. Polymer Chemistry. **12**, 2325 (2021).
- [3] Pavlov G., Errington N., Harding S., Korneeva E., Roy R. Polymer. **42**, 3671 (2001).
- [4] Perevyazko, I. Seiwert, M. Schomer, H. Frey, U. Schubert, G. Pavlov Macromolecules. **48**, 5887 (2015).

## МИКРОНЕОДНОРОДНОСТЬ ПРОЦЕССА СЕГМЕНТАЛЬНОЙ ПОДВИЖНОСТИ В ПОЛИКАРБОНАТЕ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЛИКАРБОНАТ

Жуков В.А.<sup>1</sup>, Ломовской В.А.<sup>2</sup>, Симонов-Емельянов И.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Акционерное общество «Институт пластмасс им. Г. С. Петрова»,  
г. Москва

<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской  
академии наук,  
г. Москва

<sup>3</sup>Российский технологический университет – МИРЭА институт тонкой  
химической технологии им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва  
v89160177896@yandex.ru

Исследования реакции поликарбоната (ПК) в широком температурном интервале (минус 150 °С до плюс 217 °С) в динамическом режиме свободнотухающего колебательного процесса, возбуждаемого в исследуемом полимере, показали, что на получаемых экспериментальных спектрах внутреннего трения наблюдается 4 локальных диссипативных процесса различной интенсивности, наблюдаемый в различных интервалах спектра ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $K$ ). Исследования проводились на образцах с разными условиями кондиционирования: выдержка в лабораторных условиях ( $\beta=30\%$ ,  $T=23\pm 3^\circ\text{C}$ ); выдержка в водной среде ( $\beta=100\%$ ,  $\tau=24$  часа); сушка ( $T=120^\circ\text{C}$ ,  $\tau=4$  часа); термостарение ( $T=120^\circ\text{C}$ ;  $\tau=24$  часа, температурный обжиг ( $T=180^\circ\text{C}$ ,  $\tau=40$  минут)). Наиболее интенсивным процессом, влияющим на модуль сдвига поликарбоната, как материала, является процесс сегментальной подвижности ( $\alpha$ -релаксация). По полученным данным видно, что интенсивность и температурный интервал проявления пика диссипативных потерь на спектре и на температурной зависимости частоты изменяется. Это свидетельствует о том, что релаксационная микронеоднородность данного процесса также изменяется от условий кондиционирования образцов.

Установлено, что величина дефекта модуля сдвига и его знак различны для различных пиков потерь, проявляемых на спектре. Максимальную интенсивность потерь на спектре и максимальную величину дефекта модуля имеет  $\alpha$ -процесс релаксации, связанны с процессом сегментальной подвижности цепей макромолекул ПК.

Произведен теоретический анализ с использованием модельного представления стандартного линейного тела, что позволило провести расчет дискретного времени релаксации и энергии активации  $\alpha$ -процесса при максимальном значении интенсивности потерь.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЛЕСТНИЧНЫХ ПОЛИФЕНИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВ

Ершова Т.О.<sup>1</sup>, Анисимов А.А.<sup>1</sup>, Темников М.Н.<sup>1</sup>, Никифорова Г.Г.<sup>1</sup>,  
Бужин М.И.<sup>1</sup>, Щеголихина О.И.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов РАН, г. Москва  
ershovatyana\_2995@mail.ru

Лестничные полифенилсилсесквиоксаны (л-ПФСС) – важный класс жесткоцепных кремнийорганических полимеров, обладающих рядом ценных физико-химических свойств. Однако синтез данных соединений с высокой молекулярной массой требует проведения реакции в жестких условиях с использованием различных органических растворителей и катализаторов, поэтому поиск новых методов получения таких полимеров является актуальной задачей. Ранее нами был впервые разработан и оптимизирован универсальный метод синтеза л-ПФСС с регулируемыми молекулярно-массовыми параметрами путем конденсации *цис*-тетрафенилциклотетрасилоксантетраола в жидком аммиаке (Рис.1). В результате были получены растворимые высокомолекулярные л-ПФСС, способные образовывать прозрачные, прочные пленки.

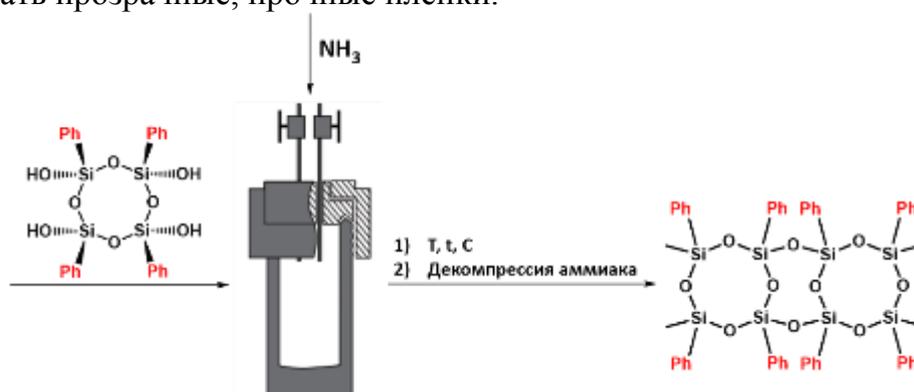


Рис. 1 – Общая схема синтеза л-ПФСС в среде аммиака.

Дальнейшей целью работы было изучение структуры и свойств л-ПФСС полученных в среде аммиака. Методами ЯМР-, ИК-спектроскопии, РФА и вискозиметрии в растворе было доказано лестничное строение синтезированных полимеров. Их свойства были исследованы методами ТГА, ДСК, механического анализа и краевого угла смачивания. Также было проведено исследование мембранных свойств синтезированных полимеров, которое показало их перспективность для газоразделения смесей, содержащих CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> и переработки ароматических и алифатических углеводородов. Была показана возможность формования полволоконных мембран. Также в ходе работы были разработаны методы количественного рецикла аммиака и переработки л-ПФСС до исходного мономера (выход 75 %).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ № МК-3534.2022.1.3.

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ПРИРОДЫ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ НА КОМПЛЕКС СВОЙСТВ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИ(ТИТАНОКСИД)

Саломатина Е.В., Буланов Е.Н., Зайцев С.Д., Смирнова Л.А.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород  
salomatina\_ev@mail.ru*

В последние два десятилетия проводится интенсивная разработка полимерных материалов, содержащих порошкообразный  $TiO_2$ , в связи с возможностью их применения в фотокаталитических системах очистки сточных вод производства красителей и в самоочищающихся покрытиях. Усиление фоточувствительности  $TiO_2$  можно достигнуть путем иммобилизации на его поверхности наночастиц (НЧ) золота и серебра, расширяющих рабочий диапазон длин волн композитов. При этом изменяется и весь комплекс свойств материалов, среди которых важнейшей эксплуатационной характеристикой являются теплофизические свойства. В настоящей работе исследовано влияние НЧ Au и Ag и природы полимерной матрицы на теплофизические свойства органо-неорганических сополимеров, содержащих наноструктурированный полититаноксид (ПТО). Модификацию ПТО наночастицами Au и Ag проводили *in situ* в процессе УФ-восстановления прекурсоров  $HAuCl_4$  и  $AgNO_3$  при получении композитов. Методами сканирующей электронной микроскопии и рассеяния рентгеновских лучей на малых углах установлено, что НЧ Au и Ag формируются вблизи ПТО и имеют средний размер 8 и 12 нм, соответственно. Исследование теплофизических свойств проводили в статическом и динамическом режимах – методами дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) и динамического механического анализа (ДМА). Методом ДСК установлено резкое снижение температуры стеклования ( $T_g$ ) органо-неорганических сополимеров со  $\sim 151$  до  $\sim 80^\circ C$  в присутствии даже небольших количеств НЧ. Этот эффект усиливается с увеличением концентрации НЧ в материалах с 0,01 мас.% до  $\sim 0,2$  мас. %, после чего  $T_g$  остается практически постоянной. Тенденция снижения  $T_g$  согласуется с данными ДМА. При этом в условиях динамической нагрузки наблюдается смещение  $T_g$  в область меньших температур по сравнению с результатами, полученными методом ДСК, как для исходной полимерной матрицы – со 151 до  $118^\circ C$ , так и для нанокompозитов на их основе – до 56 и  $75^\circ C$  для НЧ Ag и Au, соответственно. Это может быть связано с изменением структуры полимерной матрицы в присутствии НЧ и различиями в их теплопроводностях, за счет чего возможен двойной механизм теплопереноса – диффузионный и баллистический.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации (МК-2195.2021.1.3), частично Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (проект № 0729-2020-0039) и Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.*

## ИОН-ПРОВОДЯЩИЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИ(2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТОЙ)

Батищева Е.В., Смирнов Н.Н., Боброва Н.В., Соколова М.П., Смирнов М.А.

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

В связи с развитием электронной техники особое значение принимает разработка экологичных материалов на основе возобновляемых биоресурсов для химических источников тока (ХИТ). Одним из ключевых компонентов ХИТ является протон-проводящая мембрана, перспективной основой для которой является наноструктурированная бактериальная целлюлоза (БЦ). Однако мембраны на основе БЦ имеют низкую ионную проводимость  $\sigma \approx 0,008$  мСм/см при 40 °С и относительной влажности 98% [1]. Для увеличения величины  $\sigma$  развиваются два направления: получение композитов целлюлозы с гидрофильными синтетическими полимерами [2] и введение в химический состав целлюлозы кислотных групп [3].

В данной работе был получен ряд образцов нановолокон БЦ, содержащих на поверхности привитые цепи поли(2-акриламидо-2-метилпропансульфо кислоты) (АМПС) и отработан способ варьирования плотности сульфогрупп на поверхности БЦ. Химическое строение модифицированных нановолокон подтверждено данными ИК и ЯМР-спектроскопии. Из полученных дисперсий были сформированы ион-проводящие мембраны методом полива из дисперсий с последующим высушиванием. Морфологию полученных образцов изучали методами АСМ. Показано, что повышение доли АМПС при синтезе приводит к повышению пористости пленок, сформированных на основе модифицированных нановолокон, которая может быть дополнительно увеличена использованием солей при формировании мембран. Электрохимические характеристики мембран, насыщенных водой исследовали с помощью метода импедансной спектроскопии, по результатам которой определяли величину ионной проводимости. Для мембран, полученных в оптимальных условиях значения ионной проводимости достигали 1,2 мСм/см, что сопоставимо с данными литературы для подобных систем [4].

### Список литературы:

- [1] *Gadim T. D. O. et al.* Electrochimica Acta. **233**, 52-61 (2017).
- [2] *Mukhopadhyay A. et al.* Materials Today Nano. **13**, 100100 (2021).
- [3] *Bayer T. et al.* Cellulose. **28** (3), 1355-1367 (2021).
- [4] *Selyanchyn O. ,et al.* Frontiers in Energy Research. **8**, 596164 (2020).

**СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
РАСПЛАВНОГО ПАН**

Осипова Н.И.<sup>1,2</sup>, Томс Р.В.<sup>2,3</sup>, Скворцов И.Ю.<sup>2</sup>, Черникова Е.В.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН,  
г. Москва*

<sup>3</sup>*МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий,  
г. Москва  
natosi2008@yandex.ru*

В настоящее время углеродное волокно (УВ) интенсивно применяется во многих отраслях жизни, поэтому усовершенствование и удешевление технологий синтеза прекурсоров УВ и последующего формования волокна вызывают большой научный и практический интерес. Одними из наиболее востребованных прекурсоров являются сополимеры на основе акрилонитрила (АН). Наиболее распространённым способом получения таких волокон является метод «мокрого» формования, имеющий ряд недостатков. Альтернативным методом является формования волокна из расплава, при котором существенно повышается концентрация полимера за счет отсутствия растворителя. Однако такой метод накладывает ограничения по составу и ММР сополимеров, так как полимеры должны переходить в вязкотекучее состояние до начала реакции циклизации.

Для получения плавких сополимеров полиакрилонитрила (ПАН) необходимо использовать такие сомономеры, которые нарушают кристалличность ПАН и инертны в реакции циклизации. Анализ научной литературы показал, что перспективными сомономерами могут являются алкилакрилаты и 1-винилимидазол (ВИМ).

В настоящей работе предлагается использовать контролируемую радикальную полимеризацию с обратимой деактивацией цепи для синтеза композиционно-однородных сополимеров с узким ММР. В качестве сомономеров использовались аклилакрилаты с разной длиной алкильного заместителя (метил, этил, бутил, 2-этилгексил, лаурил) и ВИМ. Полимеризацию проводили в растворе ДМСО, содержание сомономера варьировалось от 5 до 20 мол. %. Изучено влияние молекулярной массы сополимера, химической природы сомономера и его содержание в сополимере, а также микроструктуры цепи на процессы циклизации и термоокислительной стабилизации, изучены реологические свойства расплавов сополимеров. Найдены оптимальные составы мономерных смесей для получения плавких сополимеров ПАН.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-79-30108-П).*

## К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Хрусталева А.Н., Соколова Л.В.

МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва

lywn@yandex.ru

Принято считать, что механизм течения полимеров заключается в перемещении макромолекул относительно друг друга благодаря тепловой подвижности их сегментов. Однако во время синтеза ВМС формируется их наноорганизация, имеющая термодинамическую природу. Наноорганизация вмещает содержание и размер упорядоченных образований, их возможное расположение в объеме полимера, а также плотность упаковки проходных цепей в неупорядоченной части, что в целом определяет степень ее упорядоченности. Так, в частности, обнаружены упорядоченные образования размером порядка 10 нм в *цис*-1,4-полиизопрене (ПИ) и бутилкаучуке (БК), 5 нм во фторкаучуке. Дифрактограмма ПИБ не содержит рефлекса, но его наноорганизация отличается высоким содержанием упорядоченных образований небольшого размера - 85 об. % [1, 2].

Сложный характер температурных зависимостей динамической вязкости выше температуры стеклования ( $T_g$ ) определяют фазовые переходы, в частности в интервале 40-180°C  $\rho_5$  в случае ПИ и  $\rho_6'$  - СКД при 90°C (рис. 1а). Более четко проявились фазовые  $\rho_5'$  и  $\rho_6'$  переходы ПИБ-1 ( $M_n = 1.1 \cdot 10^6$ ) при 85 и 130°C соответственно. Температуры фазовых переходов полимеров разного химического строения подчиняются уравнению:  $T_i' = \{[1.2 + 0.2 (i-2)] \pm 0.05\} T_g$ , где  $i$  - порядковый номер фазового перехода [1]. Сопоставление данных двух методов дает основание считать, что переход ПИБ-1 из высокоэластического состояния в вязкотекучее обусловлен проявлением  $\rho_6'$  перехода, который сопровождается распадом нанообразований межмолекулярного типа (рис 1). Аналогичный характер изменения данных двух методов имеет место и в случае БК и ПИ. Для ПИБ с меньшей молекулярной массой (ПИБ -2,  $M_n = 7.5 \cdot 10^4$  и ПИБ-3,  $M_n = 3.2 \cdot 10^5$ ) этот процесс значительно облегчен благодаря меньшей степени упорядоченности их наноорганизации.



Рис. 1 - Температурные зависимости динамической вязкости СКД (1), ПИ (2), ПИБ-2 (4), ПИБ-1 (5) и БК (6) (а), а также дилатометрическая кривая ПИБ-1 (3) (б). Другими словами, релаксационный переход полимеров из высокоэластического состояния в вязкотекучее, сопровождающийся резким уменьшением энергии активации вязкого течения, обусловлен исключительно уменьшением степени упорядоченности их наноорганизации.

**Список литературы:**[1] Соколова Л.В. Пластич. массы. **5**, 13 (2006).[2] Соколова Л.В. Высокомолек. соед. А. **59**, 98 (2017).

## ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИОКСИДА ТИТАНА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ФТОРКАУЧУКОВ

Громин С.А., Пронин Д.С., Соколова Л.В.

*МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва*  
*victorantip9@gmail.com*

Во время синтеза высокомолекулярных соединений (ВМС) формируется их nanoорганизация в той или иной степени в зависимости от условий его проведения и химического строения макромолекул, которая вмещает упорядоченно построенные образования и соединяющие их проходные цепи. Nanoорганизация ВМС имеет термодинамическую природу согласно данным РСА в области больших углов, ДСК, ИК- и ЭПР-спектроскопии [1-3]. Динамическая вязкость фторкаучука СКФ-26 уменьшилась после введения наполнителя – 0.1 мас. % диоксида титана с размером частиц 12 нм (Н-ДТ) по сравнению с ненаполненным. Температура текучести смеси, как и в случае исходного каучука (~120°C). Динамическая вязкость смеси на основе СКФ-32 аналогичного состава уменьшилась в меньшей степени, чем первой смеси, при небольшой деформации. Однако увеличение деформации привело к уменьшению динамической вязкости этой смеси в 2–3 раза в интервале 40–200°C. Температура текучести смеси не проявилась даже в этом случае, как и в случае каучука.

Наполнитель Н-ДТ является более активным для каучука СКФ-32, чем для СКФ-26 согласно данным РСА (рис.1). Так, в процессе приготовления смеси на основе СКФ-32 на вальцах сформировались три вида nanoобразований размером 47, 55 и 100 нм при одновременном увеличении содержания nanoобразований размером 5 нм, характерных для исходного каучука, в отличие от аналогичной смеси на основе СКФ-26 (рис. 1а, б, кр. 1). В процессе регистрации динамической вязкости структура nanoорганизации первой смеси несколько изменилась (рис. 1 б кр. 3, 5). Экстремальное изменение динамической вязкости смеси на основе каучука СКФ-26 в области 70°C обусловлено формированием nanoобразований размером 70 нм при одновременном увеличении содержания nanoобразований размером 4 нм, характерных для исходного каучука (рис. 1а, кр. 4).

Таким образом, неодинаковый характер изменения вязкости наполненных смесей с повышением температуры обусловлен влиянием неодинакового химического строения развязок в макромолекулах фторкаучуков на процесс формирования структуры их nanoорганизации.

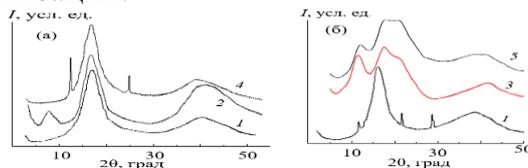


Рис. 1 – Дифрактограммы наполненных смесей на основе СКФ-26 (а) и СКФ-32 (б) (1) после измерения вязкости при 40°C (2), 60°C (3), 70°C (4) и 190°C (5).

### Список литературы:

- [1] Соколова Л.В. Пластич. массы. **5**, 13 (2006).  
 [2] Соколова Л.В. Высокомолек. соед. А. **59**, 318 (2017).

## ПОЛУЧЕНИЕ НАНОФИБРИЛЛ ИЗ ХИТИНА РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Зубров И.В., Терехова Е.А., Буслаев Д.Л., Сапрыкина Н.Н., Иванькова Е.Н.,  
Бочек А.М., Юдин В.Е.

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

Существуют различные методы выделения кристаллических областей целлюлозы и хитина, при этом получают стержнеподобные нанокристаллы. Основным методом получения нанокристаллов целлюлозы и хитина является хорошо контролируемый и удобный в исполнении кислотный гидролиз. Следует отметить, что кроме кислотного гидролиза, известны методы получения нанофибрилл полисахаридов с помощью ферментов, с применением ионных жидкостей и ряда других способов.

Цель настоящей работы – исследование закономерностей получения нанофибрилл в процессе кислотного гидролиза хитина разного происхождения. В настоящей работе использовали отечественный хитин из панцирей североморской креветки (размер частиц 0,01 – 3,0 мкм) и хитин из панцирей ракообразных (фирма «Biolog Nerpe GmbH, Germany, размер частиц  $\leq 200$  мкм).

В течение первых двух часов реакции гидролиза наблюдается бимодальное распределение нанофибрилл хитина по толщине. В образцах преобладают нанофибриллы с диаметром 13 и 17 нм. Только через 4 ч реакции гидролиза получены нанофибриллы толщиной 15-16 нм и при этом отсутствуют нанофибриллы большего диаметра. В случае изменения длины нанофибрилл наблюдается аналогичная картина, что и при анализе диаметра. Лишь через 4 ч гидролиза наблюдается исчезновение длинных (более 500 нм) нанофибрилл и основная доля имеет длину около 200 нм.

Геометрические размеры нанофибрилл хитина немецкой фирмы отличаются от размеров нанофибрилл, полученных из хитина панцирей североморской креветки, и кинетика изменения размеров нанофибрилл в процессе гидролиза также отличается. Диаметр нанофибрилл через 4 ч гидролиза составил около 38-40 нм (в сравнении с диаметром североморской креветки 15-16 нм). По длине нанофибриллы также отличаются: длина составляет 260-270 нм (длина нанофибрилл хитина североморской креветки 180-250 нм). В процессе гидролиза форма кривой распределения по диаметру претерпевает существенное изменение что может быть связано с неравномерным протеканием гидролиза в матрице хитина (диффузия реагентов в аморфные и кристаллические зоны полисахарида). На начальной стадии гидролиза (1 и 2 ч) по длине в образцах преобладают наночастицы с размерами 200 и 350 нм. Лишь через 3 ч гидролиза начинает заметно снижаться количество длинных наночастиц. Наконец, через 4 ч гидролиза в образце преобладают нанофибриллы длиной 180-250 нм.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СШИТЫХ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ В РАСТВОРАХ

Солунина А.А., Фетин П.А., Лезов А.А., Зорин И.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
st076490@student.spbu.ru*

Поверхностно-активные вещества (в дальнейшем ПАВ) применяют на практике для направленного синтеза материалов (например, с заданной пористостью), а также для катализа различных реакций, проводимых в водной фазе. Такое применение обусловлено способностью ПАВ к самоорганизации в растворе.

На данный момент в научной литературе достаточно широко освещена тема катализа, поскольку для многих лабораторных исследований и промышленных задач необходим контроль скоростей протекаемых реакций. Для органических реакций в воде в качестве катализаторов используются и исследуются новые соединения, в том числе низкомолекулярные ПАВ.

Стоит отметить, что использованию в качестве катализаторов высокомолекулярных ПАВ в литературе уделено недостаточно внимания, хотя в перспективе такие соединения можно использовать в промышленных масштабах благодаря возможности их регенерации после проведения реакции. К преимуществам высокомолекулярных ПАВ можно также отнести способность формировать мицеллы во всем концентрационном диапазоне, а также возможность широко варьировать их состав и структуру.

Объектом исследования в данной работе послужила серия образцов гребнеобразного полиэлектrolита поли-11-(акрилоилокси)-ундецилтриметиламмоний бромида (пАУТАБ) (рис.1) со сшивателями, в качестве которых выступали диакриловые эфиры вторичных спиртов с различной длиной углеродной цепи, а также люминесцентный антраценовый сшиватель. Целью работы являлось выяснение влияния природы сшивателя на структурные параметры мицелл и их каталитические свойства. Для этого полученные образцы были исследованы методами вискозиметрии, атомно-силовой микроскопии, динамического светорассеяния, рамановской спектроскопии, спектроскопии люминесценции и методом солюбилизации.

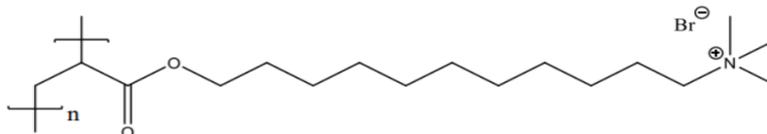


Рис. 1 – пАУТАБ.

### Благодарности

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10132.*

*Авторы выражают благодарность ресурсным центрам СПбГУ: Центру магнитного резонанса и криогенному отделу.*

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА  
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ**

Кирилл Т.Ю., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
tatyana\_pux@mail.ru*

Для установления анализа влияния структурных параметров исследованы звездообразные поли-2-алкил-2-оксазолины (ПаОЗ) при вариации строения ядра и лучей, а также их числа и длины. В качестве центра ветвления были использованы каликс[4,8]арены, функционализированные по верхнему и/или нижнему ободу. Количество лучей варьировалось от 4 до 16. Лучами звездообразных полимеров являлись поли-2-этил-2-оксазолин (ПэОЗ), поли-2-изопропил-2-оксазолин (ПипОЗ), блок-сополимеры (ПэОЗ-блок-ПипОЗ) и градиентные сополимеры (эОЗ-град-ипОЗ). На примере звездообразных ПипОЗ проанализировано влияния числа и длины лучей на процессы самоорганизации в их водных растворах. Показано, что двукратное уменьшение числа длинных лучей приводит к изменению набора и размера частиц, присутствующих в растворах звездообразных ПипОЗ. Температуры фазового расслоения для сравниваемых полимеров различаются не очень сильно, так как мольная доля гидрофобного ядра в них практически одинакова. Напротив, уменьшение длины лучей при их одинаковом числе, увеличивает содержание гидрофобных групп и вызывает снижение температур фазового разделения и увеличение ширины этого интервала.

На примере восьмилучевых и четырехлучевых ПаОЗ проанализировано влияние конфигурации каликс[4,8]аренового ядра. Показано, что для ПаОЗ, присоединенными по верхнему ободу ядра температуры фазового разделения снижаются по сравнению с полимерами, в которых ПаОЗ лучи присоединены по нижнему ободу.

Влияние строения лучей ПаОЗ проанализировано при сравнении восьмилучевых полимеров с каликс[8]ареновым ядром (КА8) и лучами, присоединенными по нижнему и верхнему ободу. Показано, что порядок присоединения блоков (ПэОЗ или ПипОЗ) к ядру для полимеров, с присоединением лучей по нижнему ободу КА8, влияет на набор рассеивающих частиц, присутствующих в растворах, но практически не сказывается на температурах фазового разделения. Для звездообразных полимеров, с присоединением блок-сополимерных лучей по верхнему ободу КА8 характер самоорганизации не зависит от порядка присоединения блоков к ядру и температуры фазового разделения совпадают для сравниваемых полимеров.

Для выявления влияния конфигурации каликс[8]аренового ядра были получены и исследованы процессы самоорганизации в водных растворах шестнадцатилучевых ПаОЗ. Образцы различались присоединением ПипОЗ и ПэОЗ лучей к верхнему или нижнему ободу ядра. Показано, что при присоединении ПипОЗ лучей к нижнему ободу КА8, а ПэОЗ – к верхнему происходит снижение температур фазового разделения по сравнению с образцом с противоположным присоединением ПипОЗ и ПэОЗ лучей. Это можно объяснить изменением конфигурации ядра КА8 и различной гидрофобностью присоединяемых лучей.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ КОБАЛЬТА С ПОЛУЧЕННЫМИ ИОНИТАМИ

Эшқурбонов Ф.Б., Рахмонкулов Ж.Э., Нормуротов Ж.Б., Эшқурбонова М.Б.

*Термезский инженерно-технологический институт,  
г. Термез  
furqat-8484@mail.ru*

Для изучения строения их поверхности, а также для исследования теоритических и прикладных вопросов сорбции на комплексообразующих ионитах используются различные физико-химические методы. Анализ физико-химических характеристик ионитов ДГТ+ГИПАН [1] охарактеризован данными с помощью методом ИКС и СЭМ. Комплексообразование ионов металлов ионитом, содержащим карбоксильные и тиольные группы может осуществляться за счет образования как ионной, так и координационной связи. Количество функциональных групп, способных реагировать с ионами металлов, [2] существенно зависит от рН. Процесс комплексообразования ионов металлов  $Co^{2+}$  с ионитом ДГТ+ГИПАН исследовали в зависимости от рН и времени. Опыты проведены при следующих условиях: концентрация металлов - 0,05 г/л, температура - 25°C, норма ионита - 0,10 г.

Зависимость степени комплексообразования металлов от рН исследовали в диапазоне рН от 2 до 8, продолжительность процесса составляла от 15 до 120 мин. Процесс комплексообразования ионов кобальта в зависимости от рН и времени представлена [2]. Кривые зависимости в процессе комплексообразования кобальта от рН, как видно из рисунка, для всех значений рН носят однопипный характер. Наибольшее значение процесса комплексообразования кобальта наблюдается при рН 4.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлена зависимость процесса комплексообразования ионов металлов от концентрации солей и при использовании ионита ДГТ+ГИПАН, процесс комплексообразования увеличивается. Так, при использовании нормы ионита 2 г при концентрации 0,005 г/л процесс комплексообразования ионов металлов  $Co^{2+}$  ионитом ДГТ+ГИПАН составило 91,5; 90,0; 99,0; 89,2%. Эти факты говорят о разном характере взаимодействия солей кобальта (II) с ДГТ+ГИПАН при одинаковых нормах ионита, времени и концентрации металлов. Основываясь на данные СЭМ и ИК-спектроскопического анализа приведен предполагаемый химизм процесса взаимодействия ДГТ+ГИПАН с ионами  $Co^{2+}$ .

### **Список литературы:**

- [1] Эшқурбонов Ф.Б., Джалилов А.Т. *Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн.* **3**, (2014)
- [2] Тураев Х.Х., Джалилов А.Т., Касимов Ш.А., Эргашева Н.Н., Эшқурбонов Ф.Б. III международная конференция по химии и химической технологии. 453 (2013)

**СЕКЦИЯ 2**  
***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

## САМООРГАНИЗАЦИЯ МЕТАТЕЗИСНЫХ СОПОЛИМЕРОВ ЦИКЛООКТАНА И ФТОРСОДЕРЖАЩИХ НОРБОРНЕНОВ В РАСТВОРЕ

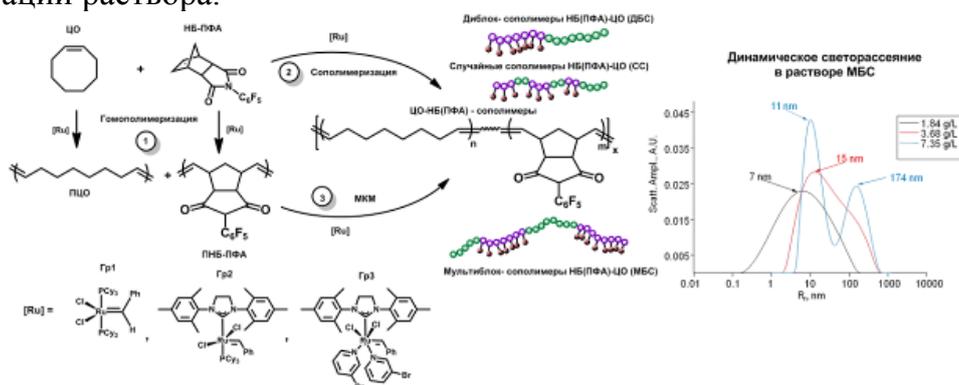
Аджиева О.А.<sup>1</sup>, Грингольц М.Л.<sup>1</sup>, Литманович Е.А.<sup>2</sup>, Кудрявцев Я.В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
химический факультет, г. Москва  
adzhieva@ips.ac.ru

Долгое время считалось, что только сополимеры с контролируемой длиной и последовательностью блоков склонны к самоорганизации. Недавно было показано, что статистические мультиблок-сополимеры (МБС) тоже могут проявлять такие свойства [1]. Преимуществом МБС является простота их синтеза с помощью межцепных реакций обменного типа [2].

В настоящей работе впервые синтезированы и охарактеризованы методами ЯМР, ГПХ, ДСК метатезисные сополимеры циклооктана (ЦО) и N-пентафторфенилнорборнен-5,6-дикарбоксимида (НБ-ПФА) с различным строением цепи. По реакции метатезисной сополимеризации ЦО и НБ-ПФА получены случайные сополимеры (СС), последовательной полимеризацией НБ-ПФА и ЦО синтезирован диблок-сополимер (ДБС). Впервые изучена реакция макромолекулярного кросс-метатезиса (МКМ) между гомополимерами ЦО и НБ-ПФА, в ходе которой образуются статистические МБС с контролируемой средней длиной блоков. Исследование растворов синтезированных сополимеров в хлороформе методом динамического светорассеяния показало, что поведение блок-сополимеров и случайного сополимера отличается качественным образом. Если сополимеры блочного строения (ДБС и МБС) демонстрируют способность к мицеллообразованию, то для СС агрегация не наблюдается вплоть до высоких концентраций раствора.



### Список литературы:

- [1] Park J., Staiger A., Mecking S., Winey K.I. *Macromolecules*. **54**, 4269 (2021).  
[2] Denisova Y.I., Roenko A.V., Adzhieva O.A., Gringolts M.L., Shandryuk G.A., Peregudov A.S., Finkelshtein E.S., Kudryavtsev Y.V. *Polym. Chem.* **11**, 7063 (2020).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-03-00703).

**ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ В  
ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА**

Волгина Е.А.<sup>1</sup>, Герасимов Д.И.<sup>2</sup>, Лаврентьев В.К.<sup>2</sup>, Темнов Д.Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
volgina.elena.1999@mail.ru*

Процессы релаксации в ориентированных пористых пленках поливинилиденфторида (ПВДФ) были изучены методом термостимулированной деполяризации (ТСД). Пленки получали в многостадийном процессе, включающим стадии экструзии расплава, изометрического отжига, одноосного растяжения и термофиксации. Использовали гранулы промышленной марки ПВДФ Kynar-720 (Atofina Chemicals, USA) с  $M_w=190000$  г·моль<sup>-1</sup>. ПВДФ является полиморфным полимером, и его кристаллическая структура представлена двумя основными модификациями: неполярными  $\alpha$ -кристаллитами и полярной пьезоактивной кристаллической  $\beta$ -фазой. На стадии одноосного растяжения происходит и образование пор, и структурный  $\alpha$ -  $\beta$ -переход. Полиморфный состав кристаллической структуры и общая пористость пленок определяются ориентационными параметрами процесса получения: кратностью фильерной вытяжки  $\lambda$  (на стадии экструзии расплава) и степенью растяжения  $\epsilon$  (на стадиях одноосного растяжения). Степень ориентации пленок измеряли методом широкоугольного рентгеновского рассеяния.

Спектры ТСД были получены на установке TSC II (Setaram, France). Измерения проводили в атмосфере гелия, величины токов деполяризации определяли электрометром Keithley. Ориентированные пленки ПВДФ поляризовали при напряженности электрического поля 100 В/мм и температуре 40°C. Спектры ТСД были получены нагревом пленок при линейной скорости нагрева 3, 7 или 9°C/мин до 70°C. Для анализа спектров использовали эмпирический метод, основанный на теории активированных состояний Эйринга. Показано, что релаксационные процессы в пленках ПВДФ наблюдаются в интервале температур от 0 – 70°C, что может быть связано с процессами разориентации диполей. Определены частотный фактор и энергия активации ( $E_a$ ) для релаксационных процессов. Установлено, что наиболее высокие значения  $E_a$  соответствуют процессам релаксации в пленках с наибольшей степенью ориентации, задаваемой значениями  $\lambda$  и  $\epsilon$ .

Показано, что содержание полярной  $\beta$ -фазы ( $X_\beta$ ), определяющей пьезоэлектрические свойства пленок, возрастает с увеличением степени одноосного растяжения  $\epsilon$ . Таким образом, эффективность поляризации зависит как от величины  $X_\beta$ , так и от степени ориентации пленок. Установлено, что оптимальное сочетание ориентационных параметров в процессе получения пленок, при котором достигается наименьшая  $E_a$  дипольной разориентации и наиболее высокое  $X_\beta$ , позволяет достичь максимального пьезомодуля  $d_{31}$  ориентированных пленок ПВДФ, составившее  $d_{31} = 30.1$  пКл/Н при величине  $X_\beta = 67\%$ .

## ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ КАК МАТРИЦЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ

Вырезкова Е.В.<sup>1</sup>, Зоолшоев З.Ф.<sup>2</sup>, Розова Е.Ю.<sup>2</sup>, Курындин И.С.<sup>2</sup>, Ельяшевич Г.К.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
kate\_vy@mail.ru

Композиционные системы на основе набухающих гидрогелей полиакриловой кислоты (ПАК) и проводящих полимеров – полипиррола (ППир) и полианилина (ПАНИ) обладают свойствами обоих компонентов – способностью к регулируемому изменению геометрических размеров и электропроводностью. Для расширения области применения электропроводящих набухающих полимерных композитов были разработаны методы, позволяющие получать блочные образцы любой формы, обладающие электропроводностью и механической прочностью. Одним из таких методов является химический синтез электропроводящего полимера *in situ* в набухшей гидрогелевой матрице. Гидрогели ПАК получали радикальной сополимеризацией акриловой кислоты (АК) со сшивающим агентом N,N'-метиленабисакриламидом при разной концентрации АК (15, 20 и 25 мас. %). В качестве инициатора использовали систему персульфат аммония – сульфит натрия – соль Мора. Образцы гидрогеля получали как в виде цилиндров, так и в виде гелевых пленок (Рис.1). Композиционные системы гидрогель/проводящий полимер готовили двухстадийным способом. Образец гидрогеля ПАК помещали в водный раствор мономера (пиррола или анилина) до достижения равновесной степени набухания. Затем гель переносили в раствор окислителя. Полученные композиты сочетают в себе способность к набуханию матрицы ПАК с электропроводящими свойствами ПАНИ и ППир.

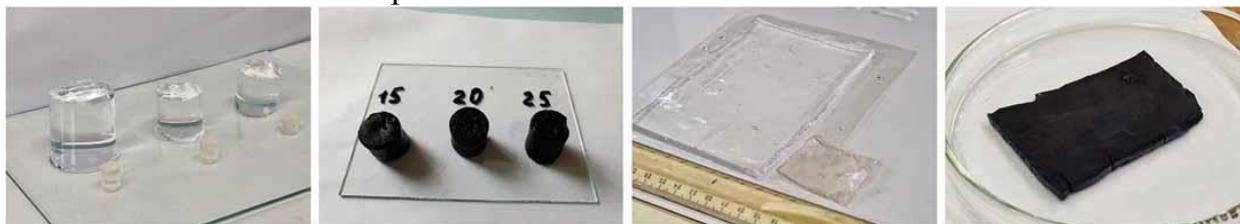


Рис. 1 - Образцы гидрогелей ПАК и композитов в виде цилиндров и пленок.

Исследование процессов набухания исходных гидрогелей и композитов в жидких средах с различным рН показало, что равновесная степень набухания зависит от концентрации АК и от рН среды, причем для всех композитов ее величина ниже, чем для исходных гидрогелей. Продемонстрирована обратимость процессов набухания-сжатия для исследуемых систем. Была измерена электропроводность композитов, которая составила для гелей в сухом состоянии  $10^{-5}$  См/см, а в набухом  $10^{-3}$  См/см. Установлено, что с увеличением концентрации АК возрастает механическая прочность гелей, а наличие жесткоцепного полимера в составе композитов приводит к закономерному увеличению модуля упругости.

## ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Герасенкова А.И.<sup>1</sup>, Бакеева И.В.<sup>1</sup>, Лозинский В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА – Российский технологический университет", г. Москва

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва

*gerasenkova.a.i@mail.ru*

Физические криогели поливинилового спирта – макропористые гели с трехмерной сетчатой структурой, образованной в результате образования узлов (областей микрокристалличности) между макромолекулами поливинилового спирта (ПВС) в процессе криотропного гелеобразования (КГ). Свойства криогелей ПВС зависят от ряда факторов: индивидуальных характеристик ПВС и природы растворителя, характеристик сорастворимых добавок или нерастворимых частиц наполнителя, соотношения концентраций компонентов, условий проведения КГ, применения или нет дополнительных стадий обработки криогеля. Умение регулировать свойства криогелей, как и гелевых материалов на основе ПВС, необходимо для реализации конкретных научных и прикладных задач.

Объектом настоящего исследования были гибридные органо-неорганические криогели ПВС (ГОНК ПВС) сформированные на основе растворов полимера в диметилсульфоксиде с добавлением тетраметоксисилана (ТМОС). Методика получения данных гелевых материалов представляла собой последовательное проведение КГ (формирование на первой стадии криогелевой матрицы) и инкубацию полученных криогелей ПВС в водных растворах соляной кислоты на второй стадии, что обеспечивало золь-гель процесс ТМОС, находящегося в матрице криогеля.

Изучено влияние исходной концентрации ТМОС на механические свойства криогелей; определяли такие физико-механические характеристики, как условно-мгновенный модуль сдвига ( $G_0$ ) (характеризующий упругие свойства) и модуль сдвига через 20 минут действия статической нагрузки ( $G_{20}$ ) (показатель пластических свойств). Установлено, что жесткость криогелей ПВС, образованных после окончания первой стадии, менялась пропорционально с ростом концентрации вводимого ТМОС (например, значения  $G_0$  изменялись от 1,6 до 14,1 кПа при повышении концентрации ТМОС с 0,068 до 0,365 моль/л). Гибридные органо-неорганические криогели ПВС сформировывались к моменту завершения второй стадии. Их жесткость значительно менялась, например, для образца ГОНК ПВС, полученного при концентрации ТМОС в исходном растворе ПВС, равной 0,365 моль/л, и выдержанного затем в 0,2N HCl, значение  $G_0$  многократно возрастало с 14,1 до 106,7 кПа. Важно, что физико-механические свойства зависели от pH раствора кислоты (повышение значения pH раствора приводило к снижению показателей  $G_0$  и  $G_{20}$  гибридных гелей ПВС). Таким образом, варьируя эти факторы (концентрацию алкоксисилана, pH среды инкубации) можно целенаправленно регулировать свойства ГОНК ПВС.

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ И НАДМОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ И ОТОЖЖЕННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Герасимов Д.И., Лаврентьев В.К., Никонорова Н.А., Попова Е.Н., Смирнова В.Е.,  
Курындин И.С., Ельяшевич Г.К.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
dmitrygerasimov1997@gmail.com*

Диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon'$ ) и степень кристалличности ( $\chi$ ) экструдированных из расплава и отожженных пленок поливинилиденфторида (ПВДФ,  $M_w = 190000$  гмоль<sup>-1</sup>,  $T_{пл} = 168^\circ\text{C}$ ) были измерены в зависимости от кратности фильерной вытяжки расплава ( $\lambda$ ) и температуры отжига ( $T_{отж}$ ) методами диэлектрической спектроскопии, широкоугольного рентгеновского рассеяния (WAXS) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Было установлено, что  $\epsilon'$  для этих пленок уменьшается с увеличением степени ориентации (Рис.1). Диэлектрическая проницаемость кристаллической фазы ПВДФ значительно ниже, чем аморфной, т.к. в этом полимере диполи расположены перпендикулярно осям молекул, и, как следствие, их вращение под действием электрического поля в упорядоченной упаковке цепей в кристаллитах затруднено. На рисунке видно, что зависимости  $\epsilon'$  от  $\lambda$  для отожженных ( $T_{отж} = 170^\circ\text{C}$ ) и экструдированных образцов имеют аналогичный вид, но ее значения для отожженных пленок ниже, чем для экструдированных. Этот результат согласуется с данными по степени кристалличности для отожженных и экструдированных пленок (65-69% и 45-48%, соответственно). Расчеты показали, что значения  $\epsilon'_a$  для аморфной фазы пленок уменьшаются с  $\lambda$  и приближаются к значению  $\epsilon'$  для кристаллитов. Это свидетельствует о том, что с увеличением степени ориентации расплава структура аморфной фазы становится ориентированной и содержит напряженные проходные цепи, вытянутые в направлении ориентации пленки.

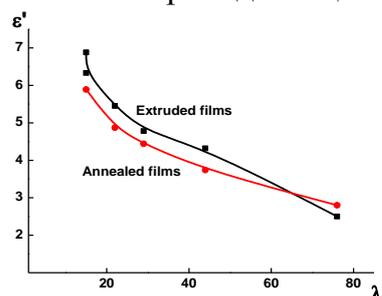


Рис.1 - Диэлектрическая проницаемость ориентированных пленок ПВДФ.

Таблица 1 - Зависимость степени кристалличности  $\chi$  (%) от  $T_{отж}$  и  $\lambda$  (данные WAX).

$\lambda$	Температура отжига		
	120°C	150°C	170°C
15	53	48	62
29	53	47	65
76	53	50	69

В Таблице 1 видно, что зависимости  $\chi$  от  $T_{отж}$  имеют немонотонный ход с минимумом при  $150^\circ\text{C}$ . Этот результат согласуется с данными кривых ДМА, которые показывают максимум при  $150^\circ\text{C}$ , связанный с появлением подвижности в кристаллитах, которая обеспечивает трансформацию надмолекулярной структуры и увеличение размеров кристаллитов при более высокой температуре. Значение  $\epsilon'$  слабо зависело от  $T_{отж}$  и составляло 4.2-4.6.

## СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ И СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Герасимов Д.И., Курындин И.С., Ваганов Г.В., Вылегжанина М.Э., Ельяшевич Г.К.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*dmitrygerasimov1997@gmail.com*

Пористые пленки поливинилиденфторида (ПВДФ) получены в процессе, основанном на экструзии расплава полимера с последующими стадиями отжига, одноосного растяжения («холодной» и «горячей» стадии) и термостабилизации. Для получения пленок использовали ПВДФ коммерческой марки Кунар-720 (Atofina Chemicals, США) с  $M_w = 190000$  г-моль<sup>-1</sup>. Кристаллическая и пористая структура полученных пленок определяются ориентационными параметрами процесса ее формирования: кратностью фильерной вытяжки расплава ( $\lambda$ ) и степенями деформации на стадиях одноосного растяжения, которое инициирует процесс порообразования. Показано, что с ростом ориентационных воздействий увеличивается число и размер пор, и при достижении величины общей пористости  $P = 23\%$  в пленке формируются сквозные каналы по перколяционному механизму. Было установлено, что появление сквозных пор сопровождается формированием сильно развитого рельефа поверхности пленки в результате выхода внутренних напряжений, накопленных в процессе растяжения (Рис.1). Высота рельефа увеличивается с ростом  $\lambda$  от 40 до 100 нм. Пористая структура пленок характеризуется высоким значением удельной поверхности (45 м<sup>2</sup>/г) при максимальном размере пор 60-80 нм.

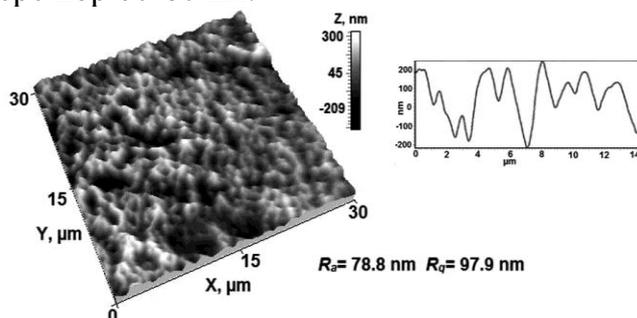


Рис.1 – АСМ картины поверхности пористых пленок ПВДФ: топография (слева) и профиль поверхности (справа).

Рельефная поверхность сообщает высокую адгезию этих пленок к покрытиям любой природы по механизму механической адгезии. Адгезионная прочность акрилового клея к пористой пленке составляет 1.4 Н/см, в то время как для экструдированных образцов ПВДФ с гладкой поверхностью эта величина равна 0.9 Н/см. ПВДФ - гидрофобный материал: для плотных пленок краевой угол смачивания водой ( $\theta$ ) составляет около 75°. При росте пористости от 12 до 30 % значения  $\theta$  уменьшаются с 71 до 65°, т.е. увеличение шероховатости поверхности обеспечивает улучшение гидрофильности образцов, которая является важным параметром при их практическом применении в водных средах.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ В РАСТВОРАХ ЗАРЯЖЕННЫХ СОПОЛИМЕРОВ

Гостева А.А., Симонова М.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
anna.gosteva.imc@gmail.ru*

Обнаружено нетривиальное поведение вязкого течения разбавленных растворов гребнеобразного амфифильного сополимера N-метил-N-винилацетамида и N-метил-N-виниламина (МВАА-*co*-МВАС<sub>12</sub>H<sub>25</sub>). Цель работы установить особенность нелинейной зависимости приведенной вязкости  $\eta_{sp}/c$  от концентрации  $c$ . Для решения поставленной задачи методами молекулярной гидродинамики и оптики исследованы образцы полимеров: гребнеобразного сополимера с 15 процентным содержанием заряженных боковых групп и гомополимера поли-N-метил-N-винилацетамида (ПМВАА). В качестве растворителей были использованы ДМФА+0.1М LiCl и вода 0.1 моль NaCl.

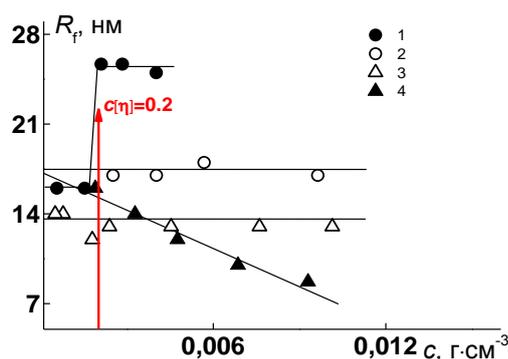


Рис. 1 - Зависимости гидродинамических размеров от концентрации для амфифильного сополимера МВАА-*co*-МВАС<sub>12</sub>H<sub>25</sub> в воде 0.1 моль NaCl - 1, в ДМФА LiCl - 2, гомополимера ПМВАА в воде 0.1 моль NaCl - 3, в ДМФА LiCl - 4.

Коэффициенты диффузии, определенные в этих растворителях разными методами, находились в хорошем соответствии. Для исследованных полимеров отсутствовала зависимость избыточной интенсивности рассеянного света на малых углах, поэтому радиус инерции макромолекул определить не удалось. Методом динамического рассеяния установлено, что обнаруженный скачок  $\eta_{sp}/c$ , объясняется наличием мицеллоподобных структур в диапазоне разбавленных растворов.

**АМФИФИЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ФТОРАКРИЛАТОВ:  
ПОВЕДЕНИЕ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ ВОДА/ВОЗДУХ**

Григорьева А.О., Зайцев С.Д.

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

Амфифильные сополимеры представляют собой перспективную группу материалов для применения в различных областях, включая нанотехнологии, формирование сложных наноразмерных сборок и фотолитографических шаблонов, медицину, в частности доставку лекарств и синтез биологических мембран [1–3]. В отличие от других сополимеров, амфифильные diblock-сополимеры содержат отдельные гидрофобные и гидрофильные части, образуя, таким образом, особый вид блок-сополимеров. Важнейшим свойством амфифильных блок-сополимеров является их самоорганизация в селективных растворителях. Разнообразие упорядоченных микроструктур, образуемых сополимерами, напрямую связано с их строением, а именно с гидрофильно-липофильным балансом. Метод Ленгмюра-Блоджетта, который включает формирование межфазных слоев и последующий перенос на твердую подложку, является одним из наиболее универсальных средств для характеристики самоорганизации блок-сополимеров.

Целью данной работы является исследование влияния структуры амфифильных сополимеров, а также pH и ионной силы субфазы на поверхностные свойства в монослоях Ленгмюра.

В работе изучено поведение амфифильных сополимеров на основе фторакрилатов различного строения с рядом мономеров гидрофильной природы (акриловой кислотой, N-винилпирролидоном, глицидилметакрилатом) на границе раздела фаз вода/воздух путем анализа изотерм Ленгмюра. Описано влияние строения фторированного фрагмента, состава и микроструктуры сополимера, pH и ионной силы субфазы на способность к самоорганизации. Получены мономолекулярные пленки методом Ленгмюра-Блоджетт. Наличие надмолекулярных структур подтверждено методом атомно-силовой микроскопии.

**Список литературы:**

- [1] *Varlas S, Lawrenson SB, Arkinstall LA, O'Reilly RK, Foster JC. Prog Polym Sci. 107, 101278 (2020)*
- [2] *Lu Y, Lin J, Wang L, Zhang L, Cai C Chem Rev. 120, 4111 (2020)*
- [3] *Brassat K, Lindner JK Adv Mater Interfaces. 7(5), 1901565 (2020)*

**АБСОРБЦИОННЫЕ И НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ  
P-СОД И P-ОДФО**

Борисова М.Э.<sup>1</sup>, Диденко А.Л.<sup>2</sup>, Джайасингхе Б.М.Д.Н.С.<sup>1</sup>,  
Камалов А.М.<sup>1,2</sup>, Павлов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая  
школа высоковольтной энергетики, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН,*

*г. Санкт-Петербург*

*nilansankalpa@gmail.com*

Объектом исследования являлись пленки термопластичного полиимида P-ОДФО и P-СОД, синтезированные в Институте Высокомолекулярных Соединений РАН.

Изучена совокупность абсорбционных характеристик пленок P-ОДФО и P-СОД:  $I_{\text{зар}}(t)$ ,  $I_{\text{раз}}(t)$ ,  $U_{\text{в}}(t)$ ,  $U_{\text{с}}(t)$ ,  $k_{\text{а}}$ . Измерения проводились в интервале температур  $T=25-200$  °С в течение времени  $t=1..10800$ с. Экспериментальные данные анализировались на основе линейных эквивалентных схем Максвелла и Фойгта. Впервые получены зависимости  $\varepsilon'(\omega)$ ,  $\varepsilon''(\omega)$  в области низких частот  $\omega = 10^1-10^4$  с<sup>-1</sup>. Установлено что зависимости  $\lg \varepsilon''(\omega)$  и  $\lg \varepsilon(\omega)$  пленок P-ОДФО и P-СОД в области низких частот имеют прямолинейный характер и практически не отличаются для разных пленок.

Изучена температурная зависимость собственной проводимости и токов ТСД пленок P-ОДФО и P-СОД. Зависимости  $\log \gamma = f(T^{-1})$  ниже температуры стеклования имеют криволинейный характер.

**Список литературы:**

[1] *Борисова М.Э., Осина Ю.К.* Письма в ЖТФ. **41**, 1 (2015)

[2] *Borisova M. et al.* Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021 (2021).

## ПОВЕДЕНИЕ АССОЦИИРУЮЩИХ ЗАРЯЖЕННЫХ СОПОЛИМЕРОВ В РАЗНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

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

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

Винилформамид широко используется в химии и фармацевтике, поскольку он обладает высокой реакционной способностью и коммерческой доступностью [1]. Стиролсульфонат применяется в медицине, например, в качестве связующего вещества калия. В работе исследованы фракции сополимера винилформамида со стиролсульфонатом натрия (ВФА-ССNa) с содержанием ССNa 16 мол.%. В результате сополимеризации получается вещество с новыми свойствами, содержащее как катионы, так и анионы.

Свойства сополимеров ВФА-ССNa изучали методами молекулярной гидродинамики: скоростная седиментация, поступательная диффузия, вискозиметрия. Фракции сополимера ВФА-ССNa были охарактеризованы при подавлении полиэлектролитных эффектов в 0,1 М водных растворах NaCl, а также в растворах 0,1 М NaCl в ДМСО. Получены скейлинговые соотношения. Характеристическую вязкость измерили в широком интервале ионных сил – от дистиллированной воды ( $\sim 10^{-6}$ М) до 2.5 М NaCl с целью установления изменения размеров макромолекул ВФА-ССNa. Обсуждается проявление электростатических и ассоциативных взаимодействий. Проводится сравнение с полиэлектролитами другой структуры, в том числе гомополимерами ВФА и ССNa.

### **Список литературы:**

[1] Панарин Е.Ф., Лавров Н.А., Соловский М.В., Шальнова Л.И. Полимеры – носители биологически активных веществ. Санкт-Петербург, ЦОП «Профессия», 2014.

### **Благодарности**

*Исследованные полимеры были синтезированы в лаборатории гидрофильных полимеров ИВС РАН. Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему лабораторией, члену-корреспонденту РАН, профессору Е.Ф. Панарину и научному сотруднику лаборатории И.И. Гавриловой.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СВОЙСТВ КАМЕДЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Доммес О.А., Окатова О.В., Колбина Г.Ф., Павлов Г.М.

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

Полисахариды широко используются в различных сферах деятельности человека: медицине, фармацевтике, пищевой и химической промышленности, сельском хозяйстве, а также таких "тяжелых" отраслях, как гидрометаллургия, нефтедобыча, обогащение руд цветных и редких металлов [1]. Природные камеди можно классифицировать по их происхождению, а также как незаряженные и ионогенные полимеры (полиэлектролиты).

В настоящей работе изучены молекулярные свойства трех биополимеров различного состава и происхождения: ксантановой камеди, внеклеточного полисахарида, продуцируемого микроорганизмами *Xanthomonas campestris*; каппа- и лямбда-каррагинанов, линейных сульфатированных полисахаридов, полученных из красных морских водорослей *Chondrus crispus*; и гуаровой камеди, полученной из бобов гуарового растения *Cyamopsis tetraganloba*. Исследуемые полисахариды заметно различаются по строению, молекулярным свойствам и равновесной жесткости цепи. Так, ксантан - один из самых жесткоцепных полимеров, анионный полимер с короткой разветвленной цепью. Каррагинан - также заряженный линейный сульфатный полисахарид. Гуаровая камедь - нейтральный полимер. Показаны возможности методов молекулярной гидродинамики – скоростной седиментации, вискозиметрии и поступательной диффузии применительно к изучению молекул этих биополимеров.

### **Список литературы:**

[1] Polysaccharides. Structural diversity and functional versatility. Ed. *Dumitriu S.*, Sec. Ed. NY, Marcel Dekker, (2005).

## 2-P-12

# МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛОВЫХ ЭФИРОВ И АМИДОВ

Симонова М.А.<sup>1</sup>, Каморин Д.М.<sup>2</sup>, Казанцев О.А.<sup>2</sup>, Филиппов А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург

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

Важной проблемой для сельского хозяйства является необходимость бороться с постоянно развивающимися патогенами и болезнями растений. По мере роста научных возможностей новые полимерные материалы становятся эффективными и кандидатами, способствующими решению этой проблемы. Полимеры - это класс универсальных материалов, которые широко используются в сельском хозяйстве, поскольку их свойства, такие как структура, функциональность и биоразлагаемость, могут быть использованы для конкретных приложений. Привлекательной альтернативой низкомолекулярным биоцидам являются антимикробные полимеры, поскольку они нелетучи, химически стабильны и могут использоваться в качестве стойких добавок. Целью работы являлось изучение термочувствительных характеристик в водных растворах амфифильных аммоний-содержащих метакриловых полимеров, состоящих из звеньев кватернизованных диметиламинопропилметакриламида (ДМАППА) или диметиламиноэтилметакрилата (ДМАЭМ) и звеньев додецилметакрилата (ДМА) (рис. 1). У исследованных сополимеров варьировалась доля звеньев додецилметакрилата и длина алкильного заместителя (от метильного до бутильного радикала) в звене аммоний-содержащего мономера (ДМАППА или ДМАЭМ). В работе определены молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики исследованных сополимеров. Изучены их термочувствительные свойства в водных растворах.

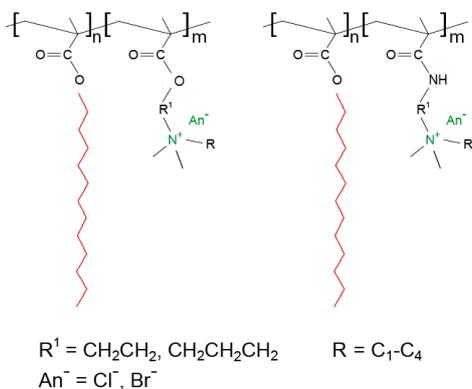


Рис. 1 - Структуры полимеров.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ АМИНОЗАМЕЩЕННЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОЛИГОФОСФАЗЕНОВ

Карпова Е.А.<sup>1</sup>, Есин А.С.<sup>1</sup>, Горлов М.В.<sup>1</sup>, Бредов Н.С.<sup>1</sup>, Поляков В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
г. Москва  
EkaterinaAKarpova@yandex.ru

Долгое время полимеры, склонные к гидролитической деструкции, не вызывали повышенного интереса научного сообщества, но с развитием тканевой инженерии, систем доставки лекарственных средств и вакцин, их ценность была пересмотрена [1]. С каждым годом всё больше исследований затрагивают тематику применения полимерных материалов в качестве биосенсоров, медицинских препаратов, носителей биологически активных веществ и др. [2].

Полифосфазены представляют собой перспективный класс биоразлагаемых полимеров [2,3]. Их рассматривают в качестве альтернативных материалов при создании имплантатов [4] и средств доставки лекарственных средств [1,2]. Однако до сих пор механизм гидролитической деструкции органоаминных фосфазенов, основные её закономерности, а также природа образующихся продуктов остаются до конца не изученными.

В качестве объекта исследования был выбран линейный олиго[бис(2-диметиламиноэтиленамино)фосфазен]. Данный олигомер ранее был успешно исследован *in vivo* и *in vitro* как средство адресной доставки ДНК при генной терапии опухолей [5]. Изучение гидролитической деструкции олиго[бис(2-диметиламиноэтиленамино)фосфазена] в средах с различным значением pH осуществляли посредством <sup>31</sup>P ЯМР-спектроскопии. В качестве сред использовали дистиллированную воду, а также буферные растворы тетраоксалата калия (pH=1,65), гидрофталата калия (pH=4.01) и гидроксида кальция (pH=12.43). Анализ протекания гидролиза выявил зависимость степени разрушения аминокзамещенного линейного фосфазена от pH среды.

### Список литературы:

- [1] Mark J.E., Allcock H.R., West R. Inorganic polymers. New York, Oxford University Press (2005).
- [2] Andrianov A. K. Polyphosphazenes for Biomedical Applications. New Jersey, John Wiley & Sons (2009).
- [3] Hsu W.H., Csaba N., Alexander C., Garcia-Fuentes M. J. of Appl. Pol. Sci. **137** (25), 48688 (2019).
- [4] Peach M. S., Kumbar S. G., James R., Toti U. S., Balasubramaniam D., Deng M., Ulery B., Mazzocca A.D., McCarthy M.B., Morozowich N.L., Allcock H.R., Laurencin C.T. J. Biomed. Nanotechnol. **8** (1), 107 (2012).
- [5] de Wolf H.K., Luten J., Snel C.J., Oussoren C., Storm G. J. Control. Release. **109**, 275 (2005).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ  
МАКРОМОЛЕКУЛ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИФЛУОРЕНА С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ  
ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ЭТАНОЛЕ И ВОДЕ.  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОПОЛИМЕРОВ С КУРКУМИНОМ**

Каскевич К.И., Симонова М.А., Ильгач Д.М., Филиппов А.П.,  
Литвинова Л.С., Якиманский А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
kaskevich-ksenia@yandex.ru*

Методом радикальной полимеризации с переносом атома синтезированы привитые сополимеры, основной цепью которых служил полифлуорен, а боковыми цепями поли-трет-бутилметакрилат и полиметакриловая кислота (ПМАК). Схема синтеза приведена на рисунке 1.

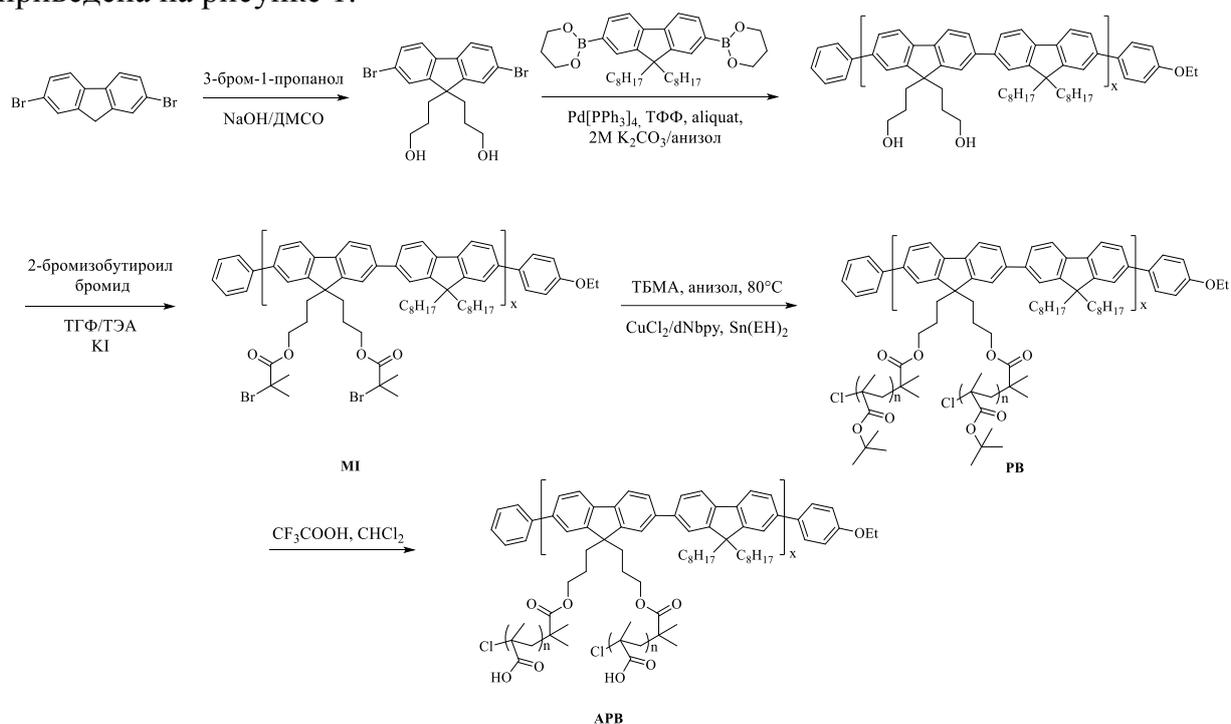


Рис. 1 - Схема синтеза полимерных щеток с основной полифлуореновой цепью и боковыми цепями ПМАК.

Методами молекулярной гидродинамики и оптики изучено поведение синтезированных привитых сополимеров в растворах в хлороформе, этаноле и воде. Показано, что полученные привитые сополимеры характеризуются высокой плотностью прививки. Образцы с боковыми цепями ПМАК образовывали унимолекулярные мицеллы. Методом люминесцентной спектроскопии было подтверждено, что данные мицеллы способны инкапсулировать куркумин в водных растворах. Установлено, что плотность прививки боковых цепей влияет на свойства комплексов синтезированных привитых сополимеров с куркумином.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ГИДРОГЕЛИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ БУМАЖНЫХ ОТХОДОВ

Михаилиди А.М.<sup>1</sup>, Кольченко С.К.<sup>1</sup>, Сапрыкина Н.Н.<sup>2</sup>, Котельникова Н.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий  
и дизайна, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
amikhailidi@yahoo.com

Поиск новых путей переработки бумажной макулатуры, которая составляет треть твердых коммунальных отходов России в 2020 г, в полезные многофункциональные материалы, такие как порошковые целлюлозы, производные целлюлозы, наноцеллюлоза, является активно развиваемым научным направлением. Цель данного исследования – разработать эффективный метод получения гидрогелей (ГГ) целлюлозы из бумажной макулатуры и охарактеризовать их свойства.

Отходы упаковочного и фильтровального картона и газетной бумаги после предварительной обработки растворяли в системе ДМАА/LiCl с последующей регенерацией из растворов путем спонтанного гелирования, что приводило к образованию стабильных в воде гидрогелей (ГГ) [1]. Физико-химические свойства ГГ и лиофильно-высушенных гидрогелей (ЛФГ) изучали с помощью ИК-Фурье спектроскопии, широкоугольного рентгеновского рассеяния и СЭМ (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика гидрогелей, полученных из различных отходов

Отходы макулатуры	Растворимость образца, %	Степень набухания, %	Равновесное содержание воды, %	Пористость ЛФГ, %	Степень кристалличности ЛФГ, %
Газета	21–42	1750	1435-3717	98.87-97.08	22,6
Картон	50–100	3910	1646-4574	96.26-98.26	33,2

Показано, что ГГ являются супернабухшими системами, способными удерживать значительное количество воды (более 4000 масс.%), а ЛФГ – пористые системы, что определяет их высокие сорбционные свойства. Морфологию исходных образцов макулатуры и ЛФГ изучали с помощью СЭМ. Поверхность газеты и картона имела плотно упакованную структуру без признаков ориентации, однако на поверхности ЛФГ имелись равномерно распределенные сквозные поры разного размера. ИК-Фурье спектры показали высокую химическую чистоту ГГ, т.к. образцы практически не содержали лигнин и гемицеллюлозы. Регенерированные образцы в виде ЛФГ имели рентгенографическую структуру полиморфной модификации целлюлозы II. В результате исследования разработан простой и эффективный способ получения гидрогелей из отходов бумажной макулатуры. Полученные гидрогели имеют систему сквозных пор и высокую пористость, что предопределяет возможность их использования в качестве адсорбентов и активных матриц.

### Список литературы:

[1] *Михаилиди А.М., Котельникова Н.Е.* Химия растительного сырья. **3**, 83 (2021).

## САМООРГАНИЗАЦИЯ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Смирнова А.В., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.

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

Комбинацией методов «прививка на» и «прививка от» получены шестнадцатилучевые поли-2-алкил-2-оксазолины (ПаОЗ). Ядром полученных звездообразных полимеров являлся каликс[8]арен (КА8), функционализированный по верхнему и нижнему ободу. В качестве лучей использованы поли-2-изопропил-2-оксазолин (ПипОЗ) и поли-2-этил-2-оксазолин (ПэОЗ) (Рис.1). Образцы различались присоединением лучей: в одном случае ПипОЗ был присоединен по верхнему ободу КА8, а ПэОЗ – к нижнему (КА8-ПипОЗв-ПэОЗн), в другом случае ПэОЗ – к верхнему ободу КА8, а ПипОЗ – к нижнему (КА8-ПэОЗв-ПипОЗн).

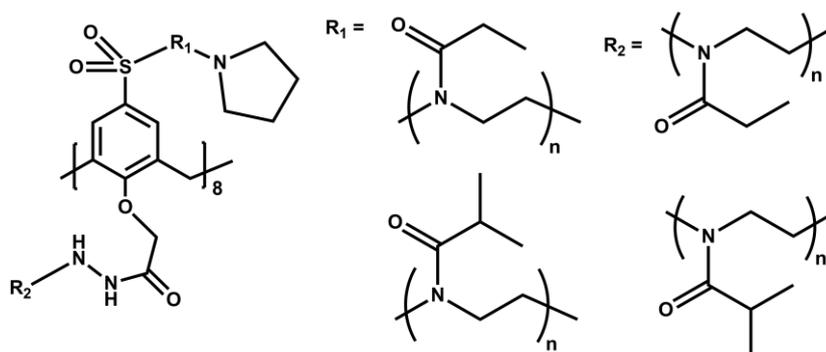


Рис. 1 – Структурные формулы звездообразных ПаОЗ.

Молекулярно-массовые характеристики и процессы самоорганизации в водных растворах изучены методами статического и динамического рассеяния света, рефрактометрии и турбидиметрии. Для определения молекулярно-массовых характеристик в качестве растворителя был выбран этиловый спирт, так как растворы в нем были молекулярно дисперсными. Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. Молекулярно-массовые характеристики звездообразных ПаОЗ.

Образец	$M_w$ , г·моль <sup>-1</sup>	$dn/dc$ , см <sup>3</sup> ·г <sup>-1</sup>	$R_h$ , нм
КА8-ПэОЗв-ПипОЗн	27000	0.1505	2.5
КА8-ПипОЗв-ПэОЗн	23300	0.1538	3.2

При изучении процессов самоорганизации в водных растворах для обоих образцов зафиксирован одинаковый набор рассеивающих частиц: унимолекулярные мицеллы и большие рыхлые агрегаты. При этом температуры фазового перехода  $T_1$  сильно различаются: при переходе от КА8-ПэОЗв-ПипОЗн к КА8-ПипОЗв-ПэОЗн  $T_1$  увеличивается. Данное поведение можно объяснить изменением конфигурации КА8 ядра при различной гидрофобности лучей.

## ВЛИЯНИЕ NaCl НА ТЕРМО- И pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АНИОННЫХ СОПОЛИМЕРОВ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА

Красова А.С., Тарабукина Е.Б., Филиппов А.П.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
krasova\_anna@bk.ru*

Сополимеры N-изопропилакриламида (НИПААм) с ионогенными сомономерами перспективны для разработки средств доставки лекарственных веществ, поскольку обладают способностью реагировать на изменения параметров окружающей среды, причем их молекулярно-конформационные свойства резко изменяются при температурах, близких к температуре организма. Включение в состав таких сополимеров анионных сомономеров приводит также и к pH-чувствительности. Поэтому, поскольку в физиологических средах присутствуют ионы NaCl, необходимо изучить характеристики термо- и pH-чувствительности в модельных условиях.

Задачей настоящей работы явилось исследование поведения сополимеров НИПААм с малеиновой (МК) или метакриловой (МАК) кислотой при различных температурах и pH в водных и водно-солевых (NaCl) растворах и установление влияния концентрации NaCl на температуры фазово-структурного перехода.

Изученные статистические сополимеры НИПААм-МК и НИПААм-МАК (рис. 1) имели близкое содержание ионогенных групп.

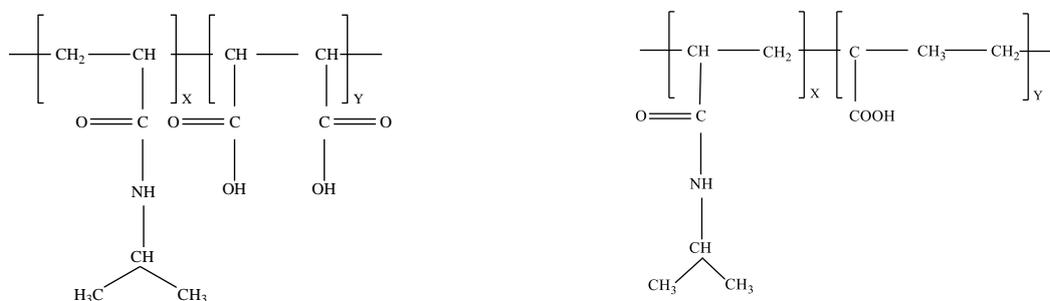


Рис. 1 – Структура исследованных сополимеров.

Исследования проводились методами статического и динамического светорассеяния и турбидиметрии. Получены температурные зависимости интенсивностей рассеяния и пропускания света и гидродинамических радиусов рассеивающих частиц при постоянной концентрации  $C = 0.5$  г/дл и различных pH в воде и 0.15 и 0.5 М растворах NaCl. Определены температуры фазовых переходов. Проанализирован состав рассеивающих объектов и их относительный вклад в светорассеяние.

Показано, что температуры начала фазово-структурного перехода  $T_{cp}$  в растворах анионных сополимеров повышаются с ростом pH. Увеличение концентрации соли приводит к понижению  $T_{cp}$  и сужению температурного интервала фазового расслоения. Проводится оценка влияния химической структуры анионного сомономера на стимул-чувствительность сополимера в солевом растворе.

## СИНТЕЗ МИКРОГЕЛЕЙ ГИДРОКСИПРОПИЛГУАРА МЕТОДОМ ЭМУЛЬСИОННОГО СШИВАНИЯ

Кузнецова Е.К.<sup>1</sup>, Шибаетов А.В.<sup>1</sup>, Филиппова О.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия  
kuznetsova@polly.phys.msu.ru

Во многих областях науки, от биоинженерии до фармацевтики, микрогели природных полимеров занимают важную нишу благодаря своим свойствам. Для получения таких микрогелей могут быть использованы различные полимеры, в том числе и плохо изученные производные гуара. Помимо того, что они могут быть сшиты различными сшивателями, производные гуара биосовместимы и биоразлагаемы. Эти свойства являются ключевыми для определения микрогелей гидроксипропилгуара (ГПГ) и карбоксиметилгидроксипропилгуара (КМГПГ).

Известно множество методов получения микрогелей природных полимеров - десольватация, эмульсионное сшивание, комплексная коацервация и так далее. Эмульсионное сшивание может быть использовано для создания гелей с широким спектром размеров, от 10 нм до >1 мкм [1].

В настоящей работе микрогели производных гуара были получены методом эмульсионного сшивания по схеме, представленной на рисунке. Небольшой объем полимерного раствора с фотоинициатором был помещен в емкость со смесью поверхностно-активного вещества Span 80 и органического растворителя для создания эмульсии «вода в масле» под воздействием ультразвука. Полученная эмульсия подвергалась облучению ультрафиолетом для активации фотосшивания, после чего полученные микрогели переводились в водную фазу. В ходе эксперимента были получены микрогели размером порядка 200 нм, в дальнейшем изученные с помощью методов светорассеяния и просвечивающей электронной микроскопии. Состав микрогелей был подтвержден методом ЯМР.

### Список литературы:

[1] R. Brayner, F. Fievet and T. Coradin, in Nanomaterials: A Danger or a Promise? A chemical and biological perspective, ed. J. Allouche, Springer-Verlag (2013).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №21-73-30013).

**ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЕВОГО БЛОКА НА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОКСИ (ОЛИГОЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ-БЛОК-ОЛИГОПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ)МЕТАКРИЛАТОВ**

Лешан В.В.<sup>1</sup>, Симонова М.А.<sup>2</sup>, Каморин Д.М.<sup>3</sup>,  
Казанцев О.А.<sup>3</sup>, Филиппов А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Высшая школа технологии и энергетики, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород  
vovka.leshan@mail.ru*

Амфифильные гребнеобразные гомо- и сополимеры на основе метокси(олигоэтиленгликоль-блок-олигопропиленгликоль)метакрилатов представляют интерес благодаря возможности варьирования их характеристик в растворах путем изменения длины гидрофильных олигоэтиленгликолевых и гидрофобных олигопропиленгликолевых блоков. В зависимости от расположения блоков, в растворах такие полимеры образуют традиционную структуру ядро-оболочка, либо оболочка мицеллы будет состоять из петель, что приводит к изменению гидродинамических характеристик полимеров. В работе исследовано поведение термочувствительных полимеров на основе метокси(олигоэтиленгликоль-блок-олигопропиленгликоль)метакрилатов с прямым и обратным расположением блоков в боковой цепи в водных растворах.

В качестве методов исследования были выбраны статическое, динамическое рассеяние света, турбидиметрия, рефрактометрия и вискозиметрия. Растворителями являлись хлороформ, ТГФ, ацетонитрил и вода. В хлороформе и воде метод динамического рассеяния света зафиксировал существование мицеллоподобных структур. По значениям полученных для этих полимеров гидродинамических размеров мы предполагаем, что мицеллы, формирующиеся в хлороформе и воде, состоят из двух-трех макромолекул. Установлено, что полимеры проявляют термочувствительность, причем с увеличением их концентрации в растворах и длины олигопропиленгликольного блока температуры фазовых переходов уменьшаются.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-13-00161).*

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АРАБИНОГАЛАКТАНА И ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОДЛОЖЕК

Максимов Г.А.<sup>1</sup>, Аким Э.Л.<sup>1</sup>, Розова Е.Ю.<sup>2</sup>, Курындин И.С.<sup>2</sup>, Ельяшевич Г.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
Gordey.frumin@mail.ru*

Получены пленочные композиционные материалы, содержащие арабиногалактан (АГ) на полиэтиленовой (ПЭ) пористой подложке и изучены их функциональные свойства. Арабиногалактан — природный водорастворимый полисахарид - входит в состав древесины Лиственницы Сибирской и может быть получен как побочный продукт при производстве целлюлозы. АГ характеризуется низкой способностью к переработке и не может быть использован как самостоятельный материал. Одним из наиболее перспективных направлений является получение композитов, содержащих АГ в качестве активного компонента на матрице, обеспечивающей механическую целостность, прочность и эластичность. Пористые ПЭ пленки, использованные в данной работе для приготовления композитов с АГ, имели общую пористость 40 % и содержали открытые к поверхности поры и сквозные каналы с размерами 150-200 нм. Слои АГ на подложке получали поливом водных растворов АГ с концентрацией 5, 10, 20 и 50 % и последующей сушкой при 40°C в течение 2 часов. Были приготовлены два типа образцов: (1) слой АГ расположен на одной поверхности пленки (ПЭ является гидрофобным полимером, поэтому водный раствор не заполняет поры); (2) ПЭ подложку смачивали этанолом и затем наносили водный раствор АГ. В этом случае слой АГ формировался как на поверхности, так и в порах подложки. Электронные микрофотографии композитов АГ/ПЭ свидетельствуют о формировании сплошной фазы АГ на поверхности пористой пленки. Пористые подложки и композиты типа (1) непрозрачны вследствие рассеяния света на стенках пор, а образцы типа (2) были прозрачными, что свидетельствует о заполнении пор АГ. Пористые ПЭ пленки имеют сильно развитую рельефную поверхность, что обеспечивает высокую адгезию слоев АГ к подложке для всех образцов. Показано, что присутствие жесткоцепного АГ в порах пленки приводит к увеличению модуля упругости и некоторому снижению разрывного удлинения для композитов, но образцы сохраняют достаточную прочность и эластичность. Измерения краевого угла смачивания ( $\theta$ ) показали, что композиты АГ/ПЭ имеют одну гидрофильную поверхность ( $\theta = 35^\circ$ ), а другую — гидрофобную поверхность ПЭ-подложки ( $\theta = 70^\circ$ ). Были проведены измерения газопроницаемости ( $Q$ ) ПЭ подложек и композитов АГ/ПЭ. Показано, что величина  $Q$  определяется методом приготовления образцов: она резко падает за счет заполнения пор АГ для композитов АГ/ПЭ (2) по сравнению с композитами АГ/ПЭ. (1):  $Q = 0.1$  и  $4.7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ с атм})$  соответственно. Таким образом, варьирование способа приготовления дает возможность регулировать барьерные свойства композитов.

## 2-P-21

# ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИРОТАКСАНОВ

Маркова Т.А.<sup>1</sup>, Кирилэ Т.Ю.<sup>2</sup>, Теньковцев А.В.<sup>2</sup>, Филиппов А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
tanyamarkova66@gmail.com

В работе исследованы гидродинамические характеристики термочувствительных полиротаксанов (Рисунок 1). В качестве концевых групп использованы поли-2-метил-2-оксазолин (ПМОЗ), поли-2-этил-2-оксазолин (ПЭОЗ) и поли-2-изопропил-2-оксазолин (ПИПОЗ).

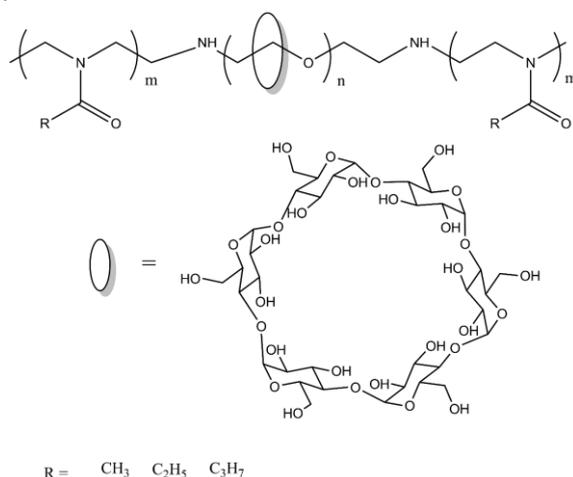


Рис. 1 – Структурная формула полиротаксана.

Молекулярно-массовые характеристики образцов получены методами гель проникающей хроматографии, светорассеяния, вискозиметрии и седиментационно-диффузионного анализа (Таблица 1).

Таблица 1 - Молекулярно массовые и структурные характеристики полиротаксанов.

Образец	ММ <sub>лин</sub> , г/моль	M <sub>w</sub> , г/моль	n*	[η], см <sup>3</sup> /г	R <sub>h-D</sub> , нм
ПИПОЗ	2600	29300	23	15.1	3.6
ПЭОЗ	3000	29000	21	9.3	3.2
ПМОЗ	2300	6700	[0.1]	5.9	1.9

n\* - число циклодекстриновых колец.

Показано, что увеличение объема бокового радикала при переходе от ПМОЗ к ПЭОЗ приводит к образованию молекулы полиротаксана. Дальнейшее увеличение объема бокового радикала не сопровождается существенным изменением ММ полиротаксана.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФ (проект № 22-23-00280).

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Никитина Е.А., Капралова В.М.

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,  
Институт электроники и телекоммуникаций,  
г. Санкт-Петербург  
eanikitina26@icloud.com*

Поливиниловый спирт (ПВС) является водорастворимым термопластичным полимером с хорошими пленкообразующими свойствами, а также высокими диэлектрическими и оптическими характеристиками, что делает его перспективным для применения в органической электронике и создания нанокомпозитов на его основе [1-2]. Для изучения влияния легирующих примесей на свойства пленок ПВС необходимо знать их исходные диэлектрические характеристики и их зависимость от технологических параметров.

Пленки толщиной 50-60 мкм были получены методом полива в лабораторных условиях из 10% водных растворов ПВС. Для изучения диэлектрических характеристик использовался метод диэлектрической спектроскопии: в работе исследовались зависимости тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости от частоты в диапазоне 100 Гц - 1 МГц. Полученные данные хорошо соотносятся с [3], что свидетельствует об отработанной технологии изготовления образцов. Исследовано влияние вакуумной сушки на диэлектрические свойства пленок на основе ПВС.

### **Список литературы:**

- [1] *Facchetti A., Yoon M. H., Marks T. J. Advanced Materials. 17 (14), 1705 (2005).*
- [2] *Васин С.В., Ефимов М.С., Сергеев В.А. Письма в ЖТФ. 46 (12), 26 (2020).*
- [2] *Просанов И.Ю., Уваров Н.Ф. Физика твердого тела. 54 (2), 393 (2012).*

## РАЗРУШЕНИЕ СМЕШАННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МИЦЕЛЛ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СОЛЮБИЛИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ С РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРНОСТЬЮ

Оспенников А.С.<sup>1</sup>, Куклин А.И.<sup>2</sup>, Шibaев А.В.<sup>1</sup>, Филиппова О.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна*

*ospennikov@polly.phys.msu.ru*

Молекулы поверхностно-активных веществ (ПАВ) могут самособираться в длинные цилиндрические или червеобразные мицеллы. Они могут запутываться и образовывать сетку с вязкоупругими свойствами даже при умеренных концентрациях поверхностно-активных веществ. Супрамолекулярные цепи поверхностно-активных веществ очень чувствительны к внешним факторам из-за природы нековалентных взаимодействий, которые связывают молекулы ПАВ внутри мицеллы. Мицеллярные цепи очень чувствительны к добавлению углеводов, которые могут разрушать мицеллы. Вязкоупругость и отзывчивость мицеллярных сеток широко используются в практических приложениях. Например, это ключевые свойства для применения растворов поверхностно-активных веществ в качестве жидкостей для гидроразрыва пласта при добыче нефти. Поэтому поиск новых систем поверхностно-активных веществ с высокой вязкоупругостью и отзывчивостью является весьма востребованным. В настоящей работе мы исследуем влияние низкомолекулярных добавок с различной степенью гидрофобности на новую вязкоупругую систему поверхностно-активных веществ, состоящую из смеси анионных (олеат калия) и катионных (бромид октилтриметиламмоний) поверхностно-активных веществ.

Во-первых, мы исследовали структуру и реологические свойства смешанной системы катионного и анионного поверхностно-активных веществ при добавлении разных низкомолекулярных добавок – акриламид, N-изопропилакриламид, фенилгексан. Данные SANS показывают, что смешанная система поверхностно-активных веществ реагирует на низкомолекулярные добавки, что является результатом превращения длинных цилиндрических мицелл в сферические. Чем более гидрофобная добавка, тем меньшая концентрация добавки необходима, чтобы привести к разрушению цилиндрических мицелл до сфер. Вязкость достигает максимума с увеличением содержания катионного поверхностно-активного вещества, и при оптимальном соотношении поверхностно-активных веществ система демонстрирует высокую вязкоупругость. С помощью 2D DOSY ЯМР определена доля низкомолекулярных добавок, находящихся внутри мицелл и в растворе.

Таким образом, было показано, что различные добавки вызывают разрушение сетки длинных мицелл и их превращение в гораздо более мелкие агрегаты. Это вызвано взаимодействием молекул с мицеллами.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-30013).*

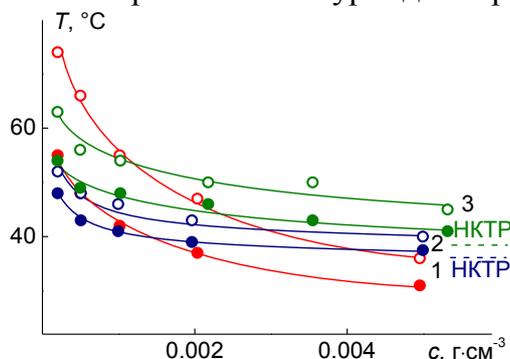
## САМООРГАНИЗАЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИВИТЫХ ПОЛИ-2-ИЗОПРОПИЛ-2- ОКСАЗОЛИНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Родченко С.В.<sup>1</sup>, Миленин С.А.<sup>2</sup>, Курлыкин М.П.<sup>1</sup>, Теньковцев А.В.<sup>1</sup>,  
Филиппов А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук,  
г. Москва  
*srfm.rodchenko@gmail.com*

Целью настоящей работы являлось установление влияния строения и архитектуры макромолекул, центром ветвления которых является полидиметилсилоксан, а боковыми цепями – поли-2-изопропил-2-оксазолин, на процессы самоорганизации и агрегации их макромолекул в водных растворах и на характер фазового разделения при варьировании концентрации  $c$  и температуры  $T$ . Исследованные образцы (ПДМС4-прив-ПИПОЗ-1 (1), ПДМС4-прив-ПИПОЗ-2 (2) и ПДМС3-прив-ПИПОЗ (3)) различались по молекулярной массе и гидрофобности вследствие разной длины основных и привитых цепей. Исследования были проведены в водных растворах методами светорассеяния и турбидиметрии.



Показано, что температура фазового разделения и нижняя критическая температура растворения изученных привитых сополимеров снижаются при уменьшении отношения длины привитых цепей к средней длине отрезка основной цепи между двумя соседними точками прививки боковых цепей, так как при этом гидрофобная основная цепь становится более доступной для растворителя. При близких значениях указанных параметров значения нижней критической температуры растворения привитых сополимеров совпадают, несмотря на то, что их молекулярные массы различаются более чем в полтора раза.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНОГО  
ГЕТЕРОСЕТЧАТОГО СОРБЕНТА БДМ-12**

Рябинин Г.В.<sup>1</sup>, Гаркушина И.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург  
georgij.ryabinin@mail.ru

Антимикробные пептиды лактобацилл представляют собой сложные органические соединения, концентрация которых в супернатанте очень низка. Высокая чувствительность антимикробных метаболитов к внешним условиям может привести к их химическим или конформационным изменениям и, в итоге, к потере ингибирующих свойств. Во избежание инактивации целевого вещества хроматографические процессы должны проводиться в условиях, которые максимально обеспечивают стабильность его структуры.

Среди сетчатых полимерных сорбентов для выделения и очистки белковых экзометаболитов из супернатанта лактобацилл наиболее подходящими являются карбоксильные сополимеры. В отличие от сильнокислотных сульфокатионитов, они не обладают каталитической активностью в отношении целевого вещества даже в кислой среде. Карбоксильные катиониты также способны резко изменять степень ионизации и осуществлять полную десорбцию белков. Для изменения степени ионизации сильнокислотных сульфо- и фосфорнокислых ионитов необходимо применение сильнокислых и сильнощелочных растворов в процессе сорбции и десорбции, что может привести к разложению целевых биологически активных веществ. На карбоксильных катионитах эти процессы происходят в более мягких условиях, что дает возможность менять степень диссоциации ионогенных групп сорбента и осуществлять сорбцию и десорбцию без применения сильнокислых и сильнощелочных буферных растворов, и выделять целевые вещества, сохраняя их нативную структуру.

В качестве хроматографического носителя для сорбционного процесса получения целевых бактериальных экзометаболитов белковой природы был выбран сорбент БДМ-12. Карбоксильный катионит группы БДМ синтезирован в Институте высокомолекулярных соединений Российской академии наук (ИВС РАН) путем радикальной осадительной сополимеризации метакриловой кислоты (МАК) в качестве функционального мономера и диметакрилата этиленгликоля (ДМЭГ) в количестве 12 мольных % в качестве сшивающего агента.

Для выбора параметров биотехнологического процесса выделения бактериальных экзометаболитов были определены физико-химические свойства данного сетчатого полимера МАК-ДМЭГ. Коэффициент набухания составил в Н-форме 2,30, в Na-форме 4,67; насыпная плотность  $\rho_n = 337,7 \text{ кг/м}^3$ ; истинная плотность  $\rho_i = 914 \text{ кг/м}^3$ ; пористость  $\varepsilon = 63\%$ ; полная обменная емкость 1,376 мг-экв/г.

На основании полученных данных разработана технологическая схема выделения антимикробных пептидов из супернатанта культуры бактерий рода *Lactobacillus* на карбоксильном катионите БДМ-12.

**СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И  
ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ЩЕТОК  
НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛАТОВ С ОЛИГО(ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ)-  
ОЛИГО(ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬНЫМИ) БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ И  
N-[3-ДИМЕТИЛАМИНО)ПРОПИЛ]МЕТАКРИЛАМИДА**

Садков Д.А.<sup>1</sup>, Симонова М.А.<sup>2</sup>, Каморин Д.М.<sup>3</sup>,  
Казанцев О.А.<sup>3</sup>, Филиппов А.П.<sup>2</sup>

*Высшая школа технологии и энергетики,  
г. Санкт-Петербург  
Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
mariasimonova1983@mail.ru*

Образцы полимеров на основе мономеров метокси [олиго(этиленгликоль)<sub>8</sub>-блок-олиго(пропиленгликоль)<sub>8</sub>] метакрилата с N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламидом получены методом РАФТ полимеризации. Этот метод позволяет получать полимеры с низким значением полидисперсности. Молекулярные массы исследованных образцов находились в диапазоне от 18000 до 35000 г/моль. Цель работы исследование влияния содержания N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламида (от 5 до 20 процентов) на гидродинамические характеристики и термочувствительные свойства его сополимеров с метокси [олиго(этиленгликоль)<sub>8</sub>-блок-олиго(пропиленгликоль)<sub>8</sub>] метакрилатом (рис.1) в разбавленных растворах.

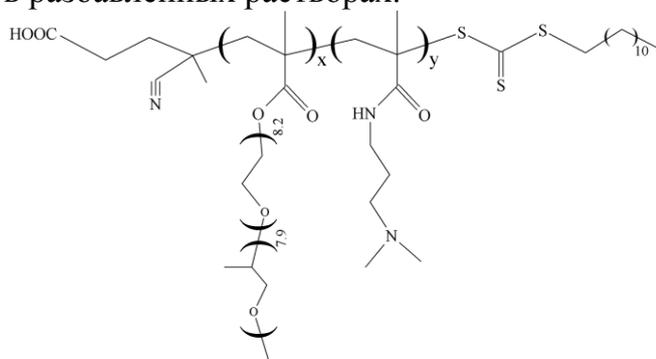


Рис. 1 - Структурная формула сополимеров.

Установлено, что в растворах ацетонитрила и ДМФА макромолекулы сополимеров обладали повышенной внутримолекулярной плотностью и компактными размерами. Показано, что все исследуемые полимеры обладали термочувствительными свойствами, причем с увеличением содержания звеньев ДМАПМА температуры фазового расслоения изменялись.

**Благодарности**

*Работа при поддержке РФФ (проект № 20-13-00161).*

## ОХАРАКТЕРИЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЬЕЗОАКТИВНЫХ ПЛЕНОК СОПОЛИМЕРА ВИНИЛИДЕНФТРОРИДА С ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНОМ

Сотова Ю.И.<sup>1</sup>, Лаврентьев В.К.<sup>2</sup>, Никонорова Н.А.<sup>2</sup>, Попова Е.Н.<sup>2</sup>,  
Курындин И.С.<sup>2</sup>, Ельяшевич Г.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
juliasotova1992@mail.ru*

Для получения пьезоактивных пленок использовали сополимер винилиденфторорида с тетрафторэтиленом коммерческой марки Ф-2МЭ (Пластполимер, Россия) с соотношением мономерных звеньев 70:30 (ВДФ/ТФЭ). Пленки, сформованные поливом раствора сополимера в диметилформамиде, были вытянуты в 3.5 раза при температуре 80 °С со скоростью ( $V$ ), варьируемой от 5 до 200 %/мин. Исследовано влияние скорости растяжения на характеристики структуры пленок. Известно [1], что кристаллическая структура исходных образцов, полученных поливом из раствора, включает полиморфные неполярную ( $\alpha$ ) и полярную ( $\beta$ ) модификации. Методом рентгеновского рассеяния показано, что растяжение исходных пленок инициирует полиморфный  $\alpha - \beta$  переход, и кристаллическая фаза всех образцов после вытяжки содержит 100% кристаллитов  $\beta$ -фазы, которая обуславливает пьезоэлектрические свойства материала.

Степень кристалличности ( $\chi$ ) образцов была определена методом дифференциальной сканирующей калориметрии, плотность ( $\rho$ ) – гравиметрическим методом, и по этим данным рассчитана плотность аморфной фазы ( $\rho_a$ ). Как видно в Таблице, эти характеристики структуры образцов практически не зависят от скорости растяжения. В то же время пьезомодуль  $d_{33}$  образцов, поляризованных в поле коронного разряда, возрастает с увеличением скорости растяжения.

Таблица. Характеристики пленок из сополимера ВДФ/ТФЭ.

$V$ , %/мин	$\chi$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_a$ , г/см <sup>3</sup>	$d_{33}$ , пКл/Н
5	47	1.74	1.56	7
30	45	1.74	1.57	8
50	47	1.75	1.58	9
100	44	1.73	1.56	13
200	45	1.75	1.59	14

С помощью метода диэлектрической спектроскопии была определена диэлектрическая проницаемость пленок, которая составила для всех образцов  $7.8 \pm 0.2$ . Для определения пьезомодуля  $d_{31}$ , пленки поляризовали высоковольтным контактным методом. Максимальное значение  $d_{31}$ , достигнутое для исследуемых пленок, составило 13 пКл/Н.

### Список литературы:

[1] *Гороховатский Ю.А., Темнов Д.Э., Сотова Ю.И.* Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. **13**, 39 (2020).

## ТЕОРИЯ СВОБОДНОГО ПРОСТРАНСТВА И ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Харламова К.И., Симонов-Емельянов И.Д.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет", г. Москва  
kharlamki@gmail.com*

Теория свободного пространства и его описание в рамках обобщенной модели дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ) позволяет проектировать необходимый тип дисперсной структуры с требуемым уровнем свойств. Комплекс физико-механических характеристик ДНПКМ определяется типом дисперсной структуры. Для описания свободного пространства и построения структуры ДНПКМ следует экспериментально определять фундаментальный параметр – упаковка дисперсной фазы в пространстве (параметр  $\phi_m$ , об. д.), а также учитывать основные характеристики дисперсных наполнителей ( $d_{ср}$ ,  $S_{уд.г.}$ ,  $\rho_{нас}$ ,  $k_e$ ) [1, 2].

В работе представлены данные по определению параметра  $\phi_m$  для макро- и крупных частиц наполнителей разными специально разработанными методиками (по кривой уплотнения, масло- и олигомероемкости). Представлены данные по классификации и проектированию разных типов дисперсных структур (ПС – разбавленная, ННС – низко-наполненная, СНС – средне-наполненная и высоконаполненная) ДНПКМ в обобщенных и приведенных параметрах. На основе ПЭВД марки 10803-020 и ПС общего назначения марки 525 были получены ДНПКМ с разными типами структур на двухшнековом экструдере LabTech LZ-80 / VS. Образцы в виде стандартных лопаток тип 5 (ГОСТ 11262-80) были изготовлены на литьевой машине Babyplast 6/10 P. Физико-механические испытания проводили на универсальной испытательной машине Gotech AI-7000-LA5. Впервые показано влияние типа дисперсной структуры и размера частиц наполнителя на прочностные характеристики исследованных ДНПКМ. Показано, что при введении крупных и макро-частиц дисперсного наполнителя как в хрупкую аморфную (ПС), так и в кристаллизующуюся (ПВД) полимерную матрицу, практически не удается получить эффекта ее упрочнения, так как не удается компенсировать действие концентраторов напряжений пластическими деформациями. Установлено, что эффект упрочнения достигается только при использовании дисперсных частиц размером от 0,20 до 2,0 мкм, как для полимерных матриц, так и для металлических и керамических при оптимальном типе дисперсной структуры – СНС-1.

### Список литературы:

- [1] *Simonov-Emelyanov I. D., Kharlamova K. I.* Key Engineering Materials. **899**, 694-700 (2021).
- [2] *Simonov-Emelyanov I. D., Kharlamova K. I.* Theoretical Foundations of Chemical Engineering. **54**, 1290-1296 (2020).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ АЛКОКСИ(ОЛИГОЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ)МЕТАКРИЛАТОВ И N,N-[(ДИМЕТИЛАМИНО)ПРОПИЛ]МЕТАКРИЛАМИДА

Каморин Д.М.<sup>1</sup>, Ожогин С.А.<sup>1</sup>, Симонова М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
d.kamorin@mail.ru

В последнее десятилетие исследования в области адресной и контролируемой доставки лекарств с помощью полимерных наноконтейнеров уделяется большое внимание исследователями всего мира. Одним из перспективных вариантов доставки лекарств к больным органам и тканям человека является использование полимерных мицелл с загруженным в гидрофобное ядро лекарственным средством. Проводимое исследование направлено на разработку термочувствительных полимеров на основе алкокси(олигоэтиленгликоль)метакрилатов (АОЭМ), N,N-[(диметиламино)пропил]метакриламида (ДМ), перспективных для использования в качестве мицеллярных контейнеров для лекарственных веществ. Проведены исследования свойств сополимеров со статистическим распределением звеньев мономеров вдоль макромолекулярной цепи и блок-сополимеров. Строение полученных полимеров представлено на рис. 1.

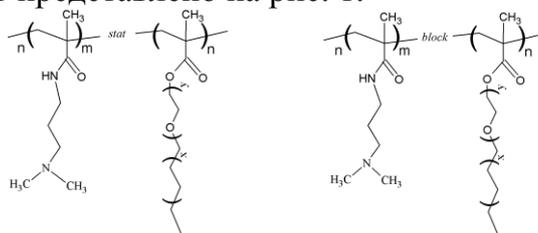


Рис. 1 - Структурные формулы исследуемых полимеров.

Синтез сополимеров АОЭМ и ДМ осуществляли растворной радикальной полимеризацией в присутствии азобисизобутиронитрила в толуоле при 70 °С. Блок-сополимеры получены с использованием агента переноса цепи 4-циано-4-[(додецилсульфанилтиокарбонил)сульфанил]пентановой кислоты.

Для полученных полимеров выполнена сравнительная оценка поведения в водных и органических растворах, рассмотрены условия наличия термочувствительных свойств, а также особенности взаимодействия полимеров с низкомолекулярными гидрофобными соединениями, моделирующими лекарства.

### Благодарности

*Представленные результаты финансово поддержаны в форме стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (СП-4129.2021.4).*

**СЕКЦИЯ 3**

***ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## ПЕРОВСКИТ-ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Бккар М., Олехнович Р.О., Успенская М.В.

*Национальный Исследовательский Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург  
mbkkar@itmo.ru*

Перовскит-полимерные наноконпозиты (ППНК) считаются хорошими фотоактивными материалами, приближая перовскитные оптоэлектронные устройства к промышленному применению. Полупроводящие или непроводящие полимеры могут образовывать гомогенные наноконпозиты с перовскитами. Полученные наноконпозиты обладают лучшими показателями, чем чистые перовскиты [1,2]. Центрифугирование (т.е. одноэтапное, двухэтапное, антирастворное) и электроформование (т.е. одноэтапное, двухэтапное, ядро-оболочка) являются наиболее популярными методами получения, применяемые для получения наноконпозитов. На свойства наноконпозитов сильно влияет метод получения, который выбирается в соответствии с требуемыми характеристиками активного слоя (т. е. механическими, морфологическими и оптическими свойствами) и типом используемого полимера (т. е. тип, растворимость, кислотная или основная природа) [1,2,3].

Несмотря на то, что перовскит-полимерные наноконпозиты обладают превосходными свойствами, у них есть вопросы, связанные с применяемыми перовскитами, полимерами, растворителями или методами осаждения. Кристаллическая природа перовскита ограничивает количество используемого в композите полимера. Увеличение количества полимера (выше определенного порога) приводит к уменьшению размера кристаллов перовскита из-за структурного ограничения [1,2]. Выбор полимера ограничен параметрами, такими как: химическая структура, растворимость, электропроводность, фотоактивность, полярность и гидрофобность. Эти параметры критически влияют на качество композита (т.е. на морфологию и кристалличность перовскита, сшивку зерен перовскита, плотность ловушек, а также на проводимость и подвижность носителей заряда). Используемые полярные растворители и/или антирастворители сильно влияют на выбор полимера и метода получения композита.

В конце представлены некоторые предложения по развитию ППНК, связанные с используемыми полимерами, такие как синтез новых полимеров, использование полимерного композита и другие.

### **Список литературы:**

- [1] *Bkkar M. A., Olekhnovich R. O., Uspenskaya M. V.* Journal of Nano Research **71**, 71-109 (2022).
- [2] *Bkkar M. A., Olekhnovich R. O., Uspenskaya M. V.* 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020 **20**, 129-136 (2020).
- [3] *Ning L., Gu N., Wang T., Liu W., Du P., Chen W.-H., Song L., Siddique S. H., Xiong J.* Materials Research Bulletin **149**, 111747 (2022).

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ПОЛИЛАКТИД-НАТУРАЛЬНЫЙ КАУЧУК ПОД ВЛИЯНИЕМ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОДЫ

Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>, Тертышная Ю.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*

В области исследований полиэфира – полилактида уже имеется значительное количество результатов. В то же время все новые аспекты применения данного полимера в смеси с другими полимерами, добавками, наполнителями дают почву для новых данных. Так, атмосферные воздействия на открытом воздухе дают данные о долговечности материалов, но требуют длительного эксперимента по выдержке для изучения гидролитической и фотолитической деструкции [1-3].

Исследование пленочных образцов ПЛА/НК (содержание НК составляло 5, 10, 15 мас. %) под влиянием УФ-излучения длиной волны  $\lambda = 254$  нм в течение 50 часов показало, что температура плавления снижается на 2-5 °С, а степень кристалличности – на 3-4%. Механические характеристики при этом ухудшаются. Вышеуказанная длина волны часто используется исследователями как ускоренный метод испытаний [2].

Гидролиз сложного эфира может быть автокатализирован любыми карбоксильными концевыми группами, изначально присутствующими или образующимися во время расщепления цепи. Установлено, что диффузия воды в аморфном полилактиде происходит не по закону Фика, а добавление каучука тормозит процесс диффузии. Исследование влияния воды на матрицу ПЛА показало, что при воздействии воды в течение 130 дней при  $T = 22^\circ\text{C}$  термограммы ДСК исследуемых образцов не содержали пика стеклования ПЛА. По-видимому, поглощенная вода вызывает пластификацию полимера, что увеличивает подвижность цепей, что приводит к снижению или исчезновению температуры стеклования на термограммах плавления.

### Список литературы:

- [1] Тертышная Ю. В., Подзорова М. В. Хим. Физика. **39** (1), 57-65 (2020).
- [2] Olewnik-Kruszkowska E., Koter I., Skopinska-Wisniewskab J., Richert J. J. Photochem. Photobiol., A. **311**, 144-153 (2015)
- [3] Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M. Polymers. **13** (3), 461 (2021).

### Благодарности

*Результаты исследования получены в рамках гранта Президента Российской Федерации на государственную поддержку молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2082.2022.1.3 «Функциональные экоматериалы на основе полилактида и натурального каучука для промышленности и "зеленых" технологий выращивания сельскохозяйственных культур».*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН И НАНОТРУБОК НА ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМИДОВ

Кунцман И.В., Николаева А.Л., Гофман И.В.

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

Исследования способов влияния на термическую стабильность пленочных нанокомпозитных материалов на основе гетероароматических полиимидов критически важны для полимерного материаловедения. В условиях длительного термического воздействия (т.е. в условиях термического старения) в полимерной матрице протекают такие процессы, как образование локальных дефектов, связанных с термической деструкцией полимерных звеньев, и пространственное сшивание макроцепей т.е. образование «деструкционных» сшивок [1]. Интенсивность протекания этих процессов определяет механическое поведение полимерной пленки, подвергнутой термическому старению. Ранее было установлено, что нанонаполнители углеродного типа способны существенным образом влиять на механические, трибологические [2] и электрические [3] свойства пленочных полиимидных материалов.

На примере нанокомпозитов на основе поли-4,4'-оксидифенилпиромеллитимида (PMDA-ODA), содержащих различные концентрации углеродных нановолокон и функционализированных нанотрубок, были исследованы характеры и интенсивности изменений механических характеристик нанокомпозитных и полиимидных пленок в условиях длительного воздействия температур в области 400-500 °С в течение различных промежутков времени. Механические характеристики пленок до и после термообработок определялись на универсальной разрывной машине в режиме одноосного растяжения.

В работе продемонстрировано, что в углеродосодержащих нанокомпозитных пленках процессы старения протекают менее интенсивно, чем в пленке матричного полиимида: прочность и предельная деформация композитов, содержащих как углеродные нановолокна, так и функционализированные нанотрубки, снижаются медленнее, чем у контрольной пленки. Это указывает на наличие дополнительных физико-химических взаимодействий между макроцепями матрицы полиимида и поверхностью наночастиц, оказывающих стабилизирующее действие на механические характеристики нанокомпозитов.

### **Список литературы:**

- [1] *Bessonov M. I., Koton M. M., Kudryavtsev V. V., Laius L. A. Polyimides – Thermally Stable Polymers. New York, Plenum Publishing Corp. (1987).*
- [2] *Ogbonna V. E., Popoola A. P. I., Popoola O. M., Adeosun S. O. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 61 (2), 176 (2021).*
- [3] *Hyang Hwa So, Jae Whan Cho, Nanda Gopal Sahoo. European Polymer Journal. 43 (9), 3750 (2007).*

## НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ SiO<sub>2</sub>, ДИСПЕРГИРОВАННОЙ В ПОРАХ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Иванова О.А., Трофимчук Е.С.

Московский государственный университет, Москва, Россия  
Olga12hf@gmail.com

Известно, что одноосная деформация кристаллической пленки полилактида (ПЛ) в алифатических спиртах реализуется по механизму делокализованного крейзинга с формированием фибриллярно-пористой структуры, которая может стать основой для композиционного материала. Ранее [1] на основе такой матрицы были получены композиты биомедицинского назначения, а также показано ускоряющее действие наполнителя на деградацию ПЛ [2]. Интересной задачей остается установление влияния пористой структуры, состава и морфологии неорганической фазы в порах полимерной матрицы на характер и скорость гидролитической деструкции и биоразложения ПЛ и композитов на его основе.

Цель работы – создание композиционного материала на основе ПЛ и фазы SiO<sub>2</sub>, диспергированной в порах полимерной матрицы, с варьируемыми функциональными свойствами и контролируемым временем разложения.

Аморфные пленки ПЛ толщиной 80-85 мкм (T<sub>ст</sub>=63°C, Mw/Mn=1.8), полученные горячим прессованием с охлаждением водой, кристаллизовали в этаноле при T=50°C в течение 45 мин. Степень кристалличности α составила ~40%. Деформацию на 80% проводили в этаноле при T=25°C. Объем пор составил ~33% при среднем диаметре пор ~8 нм. По золь-гель технологии проводили *in situ* синтез частиц SiO<sub>2</sub> в порах полимерной матрицы. Содержание неорганической фазы составило до 13%, неорганическая фаза с размером частиц 50-150 нм локализована в приповерхностном слое на глубине до 20 мкм.

Исследованы особенности гидролитической деструкции полученных композитов в среде фосфатного буфера при pH=9 и T=37°C в режиме постоянного перемешивания. Установлено, что наиболее активно гидролитические процессы протекают в местах локализации наполнителя уже с первых недель выдерживания в буферном растворе по поверхностному механизму эрозии (Рис.1).

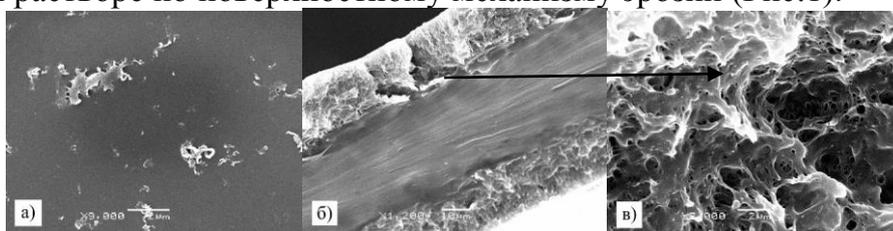


Рис. 1. – СЭМ-микрофотографии поверхности (а) и скола (б,в) композита ПЛ-SiO<sub>2</sub> спустя 2 недели гидролиза.

### Список литературы:

- [1] Trofimchuk E.S., Efimov A.V., Ivanova O.A., et al. Polymer Science - Series A., V.60. – P.842-850 (2018).  
[2] Trofimchuk E.S., Moskvina M.A., Nikonorova N.I., Ivanova O.A., et al. Eur. Polym. J. 139, (2020).

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ СКАФФОЛДЫ НА ОСНОВЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИЭФИРОВИ ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ КОСТНОЙ ТКАНИ

Дубиненко Г.Е., Акимченко И.О., Бочаров В.С., Больбасов Е.Н.,  
Твердохлебов С.И.

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*dubinenko.gleb@gmail.com*

За последние десятилетия было предложено множество новых материалов для хирургического лечения сегментарных костных дефектов. Одним из наиболее перспективных среди них является реконструкция кости с использованием персонализированных биоразлагаемых композиционных скаффолдов [1]. Среди наиболее важных характеристик биосовместимости скаффолда можно отметить его архитектуру и свойства поверхности: скаффолд должен иметь привлекательную для клеточной адгезии поверхность и взаимосвязанную пористую структуру для успешной васкуляризации и формирования внеклеточного матрикса [2]. В настоящем исследовании методом 3Дпечати были изготовлены биомиметические скаффолды из композиционного материала на основе биоразлагаемого полимера поликапролактона и наполнителя гидроксиапатита (Рис.1).

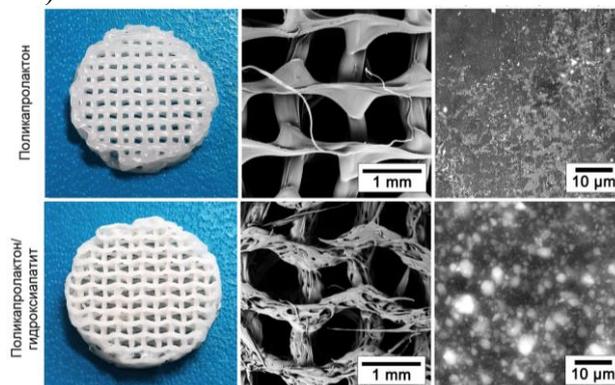


Рис. 1 – Биомиметические скаффолды (слева направо):

3Дскаффолд, макроструктура скаффолда, поверхность скаффолда в режиме детектирования обратно-отраженных электронов.

Были исследованы влияние массовой доли гидроксиапатита и термической обработки композита на свойства полимерной матрицы и напечатанных скаффолдов. Было показано, что изготовленные композиты сохраняют термическую и химическую стойкость в диапазоне температур экструзии филамента и 3Дпечати скаффолдов. При этом изменение массовой доли наполнителя влияет на кристалличность и молекулярно-массовое распределение поликапролактона. Композиты с наполнением до 20 масс.% сохраняют полидисперсность близкую к 2, что является благоприятным фактором при разработке биоразлагаемых материалов с контролируемым сроком деградации.

### Список литературы:

- [1] L. Zhang, G. Yang, B.N. Johnson, X. Jia. *Acta Biomaterialia* **84** 16–33(2019).  
[2] J.J. Chung, H. Im, S.H. Kim, J.W. Park, Y. Jung. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* **8** 1251(2020).

3-О-06

## БИОРАЗЛАГАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО КРАХМАЛА И ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА

Монина А.П., Апрятина К.В., Смирнова Л.А., Смирнова О.Н.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород  
mon.alina99@mail.ru*

Существенным недостатком современных синтетических материалов является их устойчивость к биологическому разложению, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды. По этой причине значительное внимание привлекли природные полимеры, преимущественно, полисахариды. Наиболее распространённый и доступный среди них это крахмал. Он является дешёвым, нетоксичным и, что самое важное, биоразлагаемым полимером, перспективным в изготовлении упаковочного материала. Цель работы состояла в получении биodeградируемого композиционного материала на основе модифицированного крахмала с бактерицидными свойствами. Для улучшения механических свойств крахмала произвели его модификацию путем привитой полимеризации винилацетата. В результате синтеза была получена дисперсия сополимера, на основе которой изготовили плёнки методом полива из раствора на лавсановую подложку. Образцы сушили при 50°C до достижения постоянной массы. Для придания материалам желаемых бактерицидных свойств в полученную композицию вводили полигексаметиленгуанидин-хлорид (ПГМГ-х), нетоксичный антисептик в составе многих дезинфицирующих средств. Исследование бактерицидности композиционных материалов показало, что при содержании ПГМГ-х 15% диаметр зоны ингибирования роста бактерий *Staphylococcus aureus* составляет 16 мм. Этот факт позволяет говорить о наличии у материалов ярко выраженных биоцидных свойств. Ценным качеством разрабатываемого материала является его способность к биологическому разложению. Композиты с ПГМГ-х подвергали воздействию плесневого гриба *Aspergillus niger* (Рис.1).



Рис. 1 – Плёночные материалы до и после испытаний биodeградации. Установлено, за что 28 дней потеря массы плёночных образцов составляет 96%. Следовательно, можно заключить, что присутствие антибактериального агента в составе материала не препятствует его биodeструкции. Композиционные материалы на основе модифицированного крахмала и ПГМГ-х обладают бактерицидными свойствами и, в то же время, являются биоразлагаемыми.

## СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ДЕКСТРИНА, ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТА И ПОЛИЛАКТИДА

Исхаков А.Ф., Назарова В.Д., Спиридонова Р.Р.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»*

*г. Казань*

*iskhakov.adil@mail.ru*

Полимеры находят применение во многих отраслях, таких как производство упаковки, посуды и медицина. Термопластичные композиционные полимерные материалы имеют преимущество перед традиционными полимерами [1]. Разработка новых композиционных материалов на основе биополимеров является актуальной задачей. В группе биополимеров большое внимание уделяют биоразлагаемым полимерам. Наиболее широко из ряда природных соединений в биоразлагаемых материалах используется крахмал и соединения на его основе, например, декстрин. Термопластичный декстрин характеризуется низкими физико-механическими свойствами, водостойкостью и сроком биодеградации [2]. Повысить данные свойства возможно созданием композиций термопластичного декстрина с другими биодеградируемыми полимерами. К таким полимерам можно отнести полигидроксиалканоат и полилактид.

Целью исследования было изучение физико-механических свойств, водо-, влаго- и биостойкости биодеградируемых композиций на основе термопластичного декстрина, полигидроксиалканоата и полилактида.

Путем смешения на брабендере получены композиции термопластичного декстрина, полигидроксиалканоата и полилактида различного состава. Изучены их физико-механические свойства, влаго-, водо- и биостойкость.

Показано, что увеличение массового содержания термопластичного декстрина в композиции с полигидроксиалканоатом способствует увеличению разрушающего напряжения с 7,8 до 9,6 МПа и модуля упругости с 163 до 233 МПа, а также снижает влаго-, водо- и биостойкость.

Введение полилактида в композицию термопластичного декстрина с полигидроксиалканоатом приводит к падению её физико-механических свойств. Увеличение концентрации полилактида снижает разрушающее напряжение до 1,1 МПа и модуль упругости до 46,3 МПа. Резкое падение свойств, вероятно, связано с тем, что термопластичный декстрин и полилактид не совместимы, что приводит к растрескиванию материала в ходе оценки биостойкости композиций на открытом грунте. В тоже время присутствие полилактида повышает влаго- и водостойкость композиций.

### **Список литературы:**

[1] *Mazitova A.K., Aminova G.K., Zaripov I.I., Vikhareva I.N. Nanotechnology in Construction. 13, 32 (2021).*

[2] *Crini G. Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry. 98, 11 (2020).*

## МЕХАНО-ОПТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ЭЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕР-ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Баленко Н.В., Шibaев В.П., Бобровский А.Ю.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, г. Москва  
balenko.nik.msu@gmail.com*

Создание механочувствительных систем, способных изменять свои физические свойства под действием механической деформации, является одной из актуальных задач материаловедения. Данная работа посвящена созданию полимер-диспергированных холестерических жидких кристаллов с селективным отражением света, демонстрирующих изменение оптических свойств под действием деформации (механо-оптический отклик).

Для этого холестерические жидкокристаллические смеси на основе производных холестерина были равномерно диспергированы в трех типах эластичных полимерных матриц: сшитом полиуретане (ПУ) и полисилоксане, а также в поливиниловом спирте (ПВС), пластифицированном глицерином. В процессе отверждения композитов происходило фазовое разделение с образованием капель жидких кристаллов в полимерной матрице. Таким образом были получены яркоокрашенные (за счет селективного отражения света) пленки.

Механическое растяжение этих пленок резко меняет их цвет, что выражается в смещении пика селективного отражения света (СОС) в коротковолновую область спектра и увеличении его интенсивности. Этот сдвиг полностью обратим – после фиксации растянутой плёнки наблюдается обратное смещение пика.

Наибольший механо-оптический отклик наблюдается у композитов на основе ПУ – сдвиг пика СОС достигает 200 нм, при этом они способны к большим обратимым деформациям (до 300%) [1]. Полисилоксановые композиты имеют низкую интенсивность отражения света из-за гомеотропной ориентации жидких кристаллов в каплях. Композиты на основе ПВС показали значительный механо-оптический отклик и интенсивность СОС, но их деформация необратима.

Эффект изменения положения пика СОС связан с механически индуцированным уменьшением шага холестерической спирали в каплях при одноосном растяжении композитных пленок. Показано, что сдвиг пика СОС зависит от скорости деформации – чем выше скорость деформации, тем больше механо-оптический отклик.

Полученные материалы, меняющие цвет при деформации, могут служить механохромными датчиками деформации.

### **Список литературы:**

[1] *Balenko N.V., Shibaev V.P., Bobrovsky A.Yu. Macromol. Mater. Eng., 306, 10 (2021).*

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-13-00055).*

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗГИБА ПОЛИЭТИЛЕН-КРЕМНЕЗЕМНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ**

Фомин Е.О., Трофимчук Е.С.

*Московский государственный университет,  
г. Москва  
evgeniy\_fomin\_2000@bk.ru*

В настоящее время перспективным направлением научного исследования является получение функциональных полимер-неорганических нанокompозитных материалов. Такие системы сочетают в себе свойства полимерной матрицы (гибкость, эластичность, низкая плотность) и неорганического наполнителя (прочность, электропроводность, жесткость). Уже синтезировано множество нанокompозитов, которые способны выполнять механическую работу при деформации под воздействием света, температуры, pH, влажности или электромагнитного поля. На данный момент подобные системы мало где применяются на практике, но область их применения может быть обширной: получение датчиков, захватов, искусственных мышц или умной одежды.

Обычно такие системы состоят из двух и более слоев, что является их главным недостатком – сложность и дороговизна их синтеза. В данной работе мы предлагаем недорогой и простой способ получения изгибающихся нанокompозитов. В основе нашего метода лежит явление крейзинга – неупругая деформация стеклообразных или частично кристаллических полимеров в присутствии адсорбционно активной среды (алифатические спирты, углеводороды). В ходе этого процесса происходит формирование высокодисперсной фибриллярно-пористой структуры, в которой *in situ* проводится синтез гидрофильной фазы  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

В настоящей работе были получены самоизгибающиеся пленки на основе матрицы полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). В качестве прекурсора использовался раствор этилсиликат-40 (ЭТС-40), растворенный в изопропиловом спирте (объемная доля ЭТС варьировалась от 10 до 100%) и раствор сверхразветвленного полиэтоксисилоксана в изопропиловом спирте (объемная доля 25%). Были изучены химический состав, структура, адсорбционные свойства и определены времена отклика и релаксации образцов под действием паров воды. Также было обнаружено, что полиэтилен-кремнеземные нанокompозиты могут реагировать на пары и других полярных жидкостей (аммиак, спирты, кетоны, сложные эфиры). При этом скорость изгиба и релаксации существенно зависит от природы этой жидкости. Мы предполагаем, что механизм изгиба нанокompозита связан с проникновением полярной жидкости в поры матрицы, за счет взаимодействия с гидрофильной фазой  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и расширения этих пор со стороны воздействия жидкости и сжатия этих пор с обратной стороны.

## ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ С ДОБАВЛЕНИЕМ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА

Варьян И.А.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>

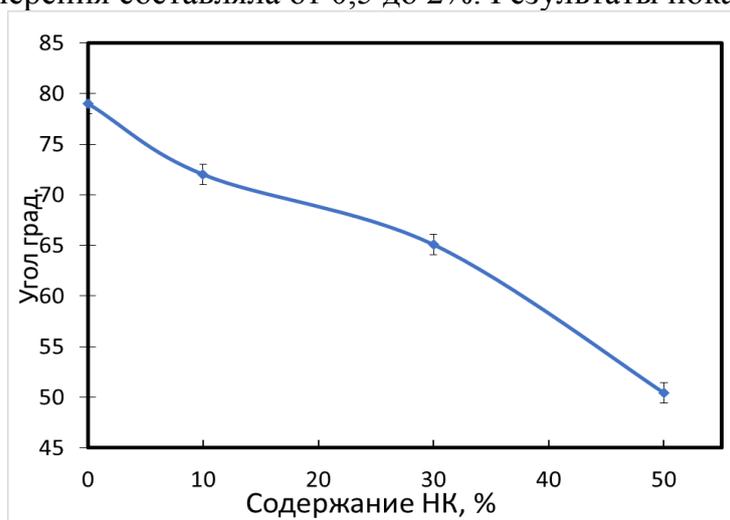
<sup>1</sup>ФГБУН Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской Академии наук, г. Москва

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, г. Москва

*ivetta.varyan@yandex.ru*

В настоящее время важной экологической проблемой является постоянно растущее количество отходов синтетических полимерных материалов как на суше, так и на море. Распространение пластикового загрязнения коррелирует с низкой ценой и долговечностью пластмасс, а также незаменимостью этого материала на данный момент в некоторых областях, что определяет высокий уровень его использования.

Начальной стадией биodeградации полимера является прикрепление (адсорбция) микроорганизмов к поверхности полимера. Поверхность ПЭНП, как правило, гидрофобна. Большинство микроорганизмов могут прикрепляться к поверхности, если она гидрофильна. Представляло интерес определить степень гидрофильности поверхности образцов в зависимости от содержания НК и добавок в смеси. Гидрофильность пленок оценивалась на основе измерений угла контакта, образованного между каплей воды и поверхностью образца. Капли воды наносили на три разных участка поверхности пленки. Результатом является среднее значение трех измерений, проведенных в разных местах. Относительная погрешность измерения составляла от 0,5 до 2%. Результаты показаны на рисунке.



Таким образом, угол контакта увеличивается на 35%, что обеспечивает высокую гидрофильность поверхности композита.

### Благодарности

Настоящая работа была выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования (ЦКП) ФГБУН «ИБХФ им. Н.М. Эмануэля» РАН «Новые материалы и технологии» и ЦКП ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова».

## СТРУКТУРА НАНООРГАНИЗАЦИИ ФТОРСОПОЛИМЕРОВ

Лосев А.В., Соколова Л.В.

МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва

losevandrey95@mail.ru

Во время синтеза высокомолекулярных соединений формируется их nanoорганизация в той или иной степени в зависимости от условий его проведения и химического строения макромолекул, которая вмещает упорядоченно построенные образования и соединяющие их проходные цепи. Nanoорганизация имеет термодинамическую природу и перестраивается с четкой периодичностью с проявлением множественных фазовых переходов выше температуры стеклования полимеров разного химического строения [1–4]. В терполимере (ВДФ/ГФП/ПФАВЭ), не способном к кристаллизации, обнаружены упорядоченные образования размером 4 нм со средними межплоскостными расстояниями 5.1 Å, о которых свидетельствует интенсивный рефлекс с максимумом при  $2\theta = 17^\circ$ , как и в случае фторкаучука СКФ-26 (рис. 1). После нагревания при  $170^\circ\text{C}$  на дифрактограмме терполимера проявились два дополнительных рефлекса, указывающие на формирование в нем двух новых видов nanoобразований с межплоскостными расстояниями 7.12 и 3.55 Å, содержание и размер которых увеличивается линейно с 16 до 55 нм с ростом продолжительности нагревания (рис. 1, кр. 2-4). Важно, что терполимер находится в вязкотекучем состоянии при  $170^\circ\text{C}$  согласно дилатометрической кривой. Переход в вязкотекучее состояние обусловлен распадом лишь той части упорядоченных образований размером 4 нм, которые формируют единую сетку в терполимере. Об этом свидетельствует существенное уменьшение интенсивности рефлекса с максимумом при  $2\theta = 17^\circ$  при  $75^\circ\text{C}$ . Однако дальнейшее повышение температуры нагревания сопровождается увеличением интенсивности последнего, что указывает на восстановление большей части этих nanoобразований при  $120^\circ\text{C}$ , несмотря на то что терполимер уже находится в вязкотекучем состоянии (рис. 2).

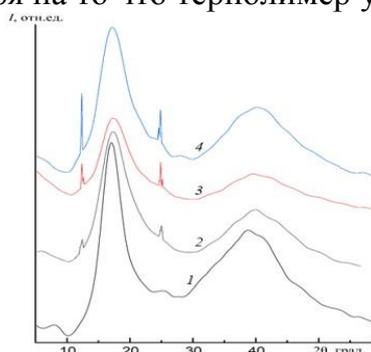


Рис. 1. – Дифрактограммы терполи-мера (1) после нагревания в течение 20 (2), 45 (3) и 90 мин. (4) при  $170^\circ\text{C}$ .

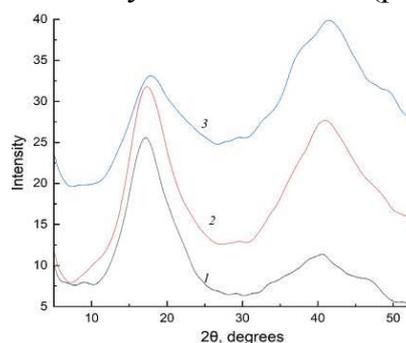


Рис. 2. – Дифрактограммы терполи-мера после нагревания в течение 20 (1), 45 (2) и 90 (3) мин. при  $120^\circ\text{C}$ .

**Список литературы:**

- [1] Соколова Л.В. Высокомолек. соед. – А. **29**, 1731 (1987). [2] Соколова Л.В. Пластич. массы. **5**, 13 (2006). [3] Соколова Л.В. Высокомолек. соед. – А. **59**, 318 (2017). [4] Соколова Л.В. Высокомолек. соед. – Б. **36**, 1737 (1994).

## ГИДРОЛИТИЧЕСКИЕ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ АБСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Яхина А.Р., Жорина Л.А., Роговина С.З., Иорданский А.Л.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова  
Российской академии наук, г. Москва  
nastya\_0496@mail.ru*

Наиболее распространенным методом очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов считается абсорбция. Основными недостатками используемых в настоящее время абсорбентов являются экологическая несовместимость с окружающей средой и невозможность их уничтожения после срока эксплуатации. Поэтому разработка абсорбентов на основе биоразлагаемых полимерных композиций, обладающих эффективными абсорбционными способностями наряду с хорошими механическими характеристиками, является перспективным направлением работ проводимых в этой области. Такие композиции могут быть получены из природных полиэфиров полилактида (ПЛА), полигидроксibuтирата (ПГБ) и полисахарида хитозана.

В процессе эксплуатации в водных средах абсорбенты подвергаются гидролитической деструкции. Для оценки ее влияния на стабильность разработанных композиций были изучены способность к водопоглощению полученных абсорбентов, а также деструкция в кислотных средах. Показано, что скорость потери массы образцов зависит от кислотности среды. При этом добавление хитозана в бинарные композиции ПЛА-ПГБ приводит к увеличению степени и скорости гидролиза.

Для определения сорбционных свойств полученной тройной композиции ПЛА–ПГБ–хитозан с соотношением компонентов 25:25:50 (мас. %) было проведено сравнительное изучение ее абсорбционной способности по отношению к ионам железа и хрома, являющихся загрязнителями водных сред, с использованием методов рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Обнаружено, что сорбционная активность зависит как от соотношения компонентов в композициях, так и от природы ионов металлов и их концентрации в растворе. На основании данных СЭМ наглядно продемонстрировано, что нахождение тройной композиции ПЛА–ПГБ–хитозан в концентрированных солевых водных растворах приводит к заметным морфологическим изменениям полимерной поверхности и формированию отдельной фазы солей железа и хрома в виде дисперсных частиц, форма и распределение которых зависят от природы электролита.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что разработанные пленочные тройные композиции ПЛА-ПГБ-хитозан имеют хорошую гидролитическую стабильность и высокие абсорбционные свойства по отношению к ионам тяжелых металлов и могут быть использованы в качестве биоразлагаемых абсорбентов для их сорбции из сточных вод.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИИМИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМБИНИРОВАННОГО НАПОЛНЕНИЯ ДЛЯ FDM-ПЕЧАТИ

Поляков И.В.<sup>1</sup>, Ваганов Г.В.<sup>2</sup>, Диденко А.Л.<sup>2</sup>, Попова Е.Н.<sup>2</sup>, Иванькова Е.М.<sup>2</sup>,  
Елоховский В.Ю.<sup>2</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
polyakov-iv@yandex.ru*

Доля аддитивных технологий на мировом рынке в настоящее время активно растет, а наиболее активно эксплуатируемыми материалами для них являются полимеры. Все это обусловлено тем, что различные аддитивные технологии находят свое применение в самых разнообразных сферах от полностью функциональных изделий в авиа- и автомобилестроении до эндопротезов, замещающих костные дефекты в медицине. Одной из главных проблем самой распространенной технологии – FDM-печати являются невысокие механические характеристики изделий по сравнению с традиционными методами производства, что может мешать их применению в качестве функциональных высоконагружаемых изделий. Решением данной проблемы может выступать использование композиционных материалов комбинированного наполнения на основе суперконструкционных термопластичных полимеров.

В данной работе был использован суперконструкционный частично кристаллический полиимид Р-ОДФО, синтезированный в ИВС РАН, на основе диангида Р (1,3 -бис (3,3', 4,4'-дикарбоксифеноксид) бензол) и диамина ОДФО (4,4'-бис (4''-аминофеноксид) дифенил) с температурой стеклования ~200°C, температурой плавления ~320°C, а также температурой термодеструкции ~540°C. В качестве наполнителей были использованы углеродные волокна VGCF (Pyrograf®-III, США) с диаметром ~100 нм и длиной 20-200 мкм, а также дискретные углеродные волокна Umatex (Россия) с диаметром ~7 мкм и длиной ~7 мм.

Композиционные материалы были получены на основе полиимидной матрицы Р-ОДФО с нановолокнами VGCF, армирующими углеродными волокнами, а также с их комбинацией. Из данных материалов напечатали образцы на экспериментальной установке для FDM-печати высокотермостойкими пластиками. Исследованы реологические, термические и механические характеристики полученных материалов, а также их внутренняя структура. Изучено влияние наполнителей различного масштаба на свойства как при совместном, так и при отдельном введении их в полимерную матрицу.

### **Благодарности**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-33-90145.*

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АНИЗОМЕТРИЧНЫХ В-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ, ДОПИРОВАННЫХ В МАТРИЦУ ПММА

Зиятдинова Р.М., Лещёва А.А., Князев А.А., Крупин А.С., Галяметдинов Ю.Г.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г.Казань  
ziyatdinovarm@mail.ru*

Координационные соединения лантаноидов (Ln) являются перспективными материалами для применения в различных областях науки и техники благодаря ряду их уникальных свойств. В настоящее время переходят от синтеза соединений Ln к их включению в различные виды матриц, что позволяет придать не только химическую и термическую стабильность комплексу, но и увеличить эффективность люминесценции. Благодаря своим свойствам и низкой стоимости идеальными кандидатами для использования в качестве матрицы являются полимеры [1]. В работе были получены микроразмерные композиционные плёнки с различным содержанием комплекса  $\text{Eu}(\text{DK}_{12-14})_3\text{Phen}$  в ПММА и исследованы их люминесцентные свойства. Спектры излучения композитных плёнок при комнатной температуре, полученные при  $\lambda_{\text{ex}}=340$  нм (рис. 1), показывают характеристические полосы переходов иона  $\text{Eu}(\text{III})$  в диапазоне 500-750 нм.

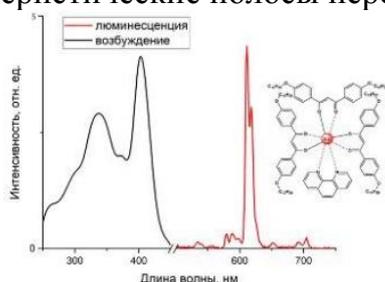


Рис. 1.– Спектры возбуждения и люминесценции композитных плёнок, содержащей 1% комплекса  $\text{Eu}(\text{III})$ .

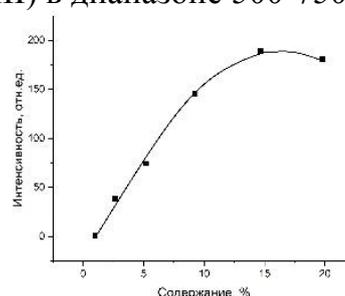


Рис. 2. – Концентрационная зависимость люминесценции композитных плёнок при  $\lambda_{\text{ex}}= 340$  нм.

Исследование концентрационной зависимости люминесценций, полученных композитных пленок (рис. 2) показало, что интенсивность излучения с увеличением концентрации люминофора возрастает нелинейно и достигает максимума при 15%. Светопропускание пленок превышает 90% и практически не зависит от содержания комплекса  $\text{Eu}(\text{III})$ . Таким образом, полученные плёнки являются эффективными прозрачными светотрансформирующими материалами, перспективными для оптики и оптоэлектроники.

### Список литературы:

[1] Knyazev A. A., Krupin A. S., Gubaidullin A. T., Galyametdinov Y. G. Optical and structural characteristics of PMMA films doped with a new anisometric  $\text{Eu}(\text{III})$  complex // Acta Cryst. B **75** (4), 570-577 (2019).

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ №18-13-00112.*

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ НА НАДМОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ПОЛИМЕРОВ

Абушахманова З.Р.<sup>1,2</sup>, Купинский Н.Г.<sup>3</sup>, Пантюхов П.В.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> *Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, г. Москва*

<sup>3</sup> *МИРЭА - Российский технологический университет, институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, г. Москва*  
*zubarzhat.akh@gmail.com*

При переработке полимеров обычно имеют место нестационарные условия теплопередачи и скорость охлаждения расплава изменяется по толщине изделия. Поверхностные слои охлаждаются быстрее, чем внутренние. Поэтому в большинстве случаев образуются неоднородные по размерам кристаллические структуры. При низкой скорости охлаждения расплава отдельные участки макромолекул в дефектных областях переходят в складчатое строение (домены), поэтому в процессе кристаллизации образуются крупнокристаллические структуры. При высокой скорости охлаждения образуются мелкокристаллические структуры, так как времени на перегруппировку молекул и переход их в складчатое строение недостаточно, поэтому кристаллизация заканчивается на промежуточной стадии [1]. Для изучения влияния скорости охлаждения в этом исследовании рассматриваются смеси ПЭНП/ПКЛ с составом от 100 мас.% ПЭНП до 100 мас.% ПКЛ с шагом 10 мас.% каждого компонента, которые были получены путем смешения в расплаве. Далее полученную смесь измельчали при помощи роторно-ножевой дробилки и получили мелкодисперсный порошок. Из полученного порошка методом горячего прессования получили пленки, толщина которых варьировалась от 120 до 180 мкм. Для получения различных надмолекулярных структур охлаждение плёнок проводили двумя широко применяемыми методами, такими как водяное охлаждение (закалка) и естественное воздушное охлаждение под гнетом.

Чтобы посмотреть влияние способов охлаждения на пленки были изучены теплофизические свойства пленок методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Рассмотрим пленки состава 90 ПЭНП/10 ПКЛ, 50 ПЭНП/50 ПКЛ и 10 ПЭНП/90 ПКЛ, охлажденные закалкой и под гнетом. Метод охлаждения пленок на степень кристалличности ПЭНП в смеси практически не меняется, оно варьируется в районе 2%, а на поликапролактоновой части смеси есть изменения. Так, степень кристалличности закаленной пленки меньше, чем у пленки, которая охлаждалась под гнетом на 6-17%.

### **Список литературы:**

[1] *Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс. Ленинград, Химия, 1983.*

## ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ДВУХМЕРНЫХ УМНЫХ КОМПОЗИТОВ С МАГНИТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Воронцов С.А., Андреев Н.В., Колесникова В.Г., Родионова В.В., Левада Е.В.

*Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,  
Институт физико-математических наук и информационных технологий,  
Калининград  
stanisvorontsov@gmail.com*

Полимеры благодаря разнообразию химических и физических, например, эластичность, термопластичность и прочность, а также строению молекул могут применяться в различных сферах производства. Таким образом, благодаря полимерам удаётся решать множество задач для широкого круга отраслей, в том числе включая регенеративную медицину и медицинские приложения [1]. Использование поливинилиденфторида (PVDF) – пьезоэлектрического полимера, на сегодняшний день является наиболее актуальным, в особенности это актуально для направлений фармацевтической и химической отраслей [2].

Последние годы активно развивается направление изготовления двухмерных умных композитов с магнитным наполнителем ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) на основе различных полимеров для создания биомедицинских приложений [3]. В процессе синтеза, путём добавления в полимер ферромагнитных наночастиц образуется двумерный композитный материал с магнито-электрическими свойствами и магнито-электрическим эффектом.

В данной работе представлена серия образцов с содержанием нанопорошка  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  на основе полимера PVDF в соотношении 5%, 10% и 15% от массы умного материала, полученных методом ракельного ножа. Для исследования структурных свойств были использованы: сканирующий электронный микроскоп (SEM) для исследования толщины композитов и обнаружения дефектов; атомно-силовой микроскоп (AFM) для исследования топологии поверхности, определения модуля жесткости и пьезосвойств плёнки; для определения состава плёнок применялся рентгеновский порошковый дифрактометр (powder XRD). Также был разработан документ получения двухмерных умных композитов с магнитным наполнителем на основе PVDF.

Следовательно, разработана новая методика изготовления композитных 2D-плёнок, отработана технология получения умных композитов с постоянством параметров шероховатости поверхности толщины и размеров с возможностью воспроизводимости в лабораторных условиях. Установлено влияние концентрации наночастиц на прочность, адгезивные свойства и модуль упругости для каждого из образцов.

### **Благодарности**

*Исследование выполнено при поддержке РНФ в рамках гранта № 21-72-30032.*

### **Список литературы:**

- [1] Saxena, P., & Shukla, P. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 4(1) (2021).  
[2] O Senatov, F. S., et al. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 57, 139–148 (2016). [3] Omelyanchik, A., et al. *Nanomaterials*, 11(5) (2021).

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ И ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анпилова А.Ю.<sup>1,2</sup>, Масталыгина Е.Е.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»,  
Высшая Инженерная Школа «Новые материалы и технологии», г. Москва

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля» РАН, г. Москва  
Anpilova.AY@rea.ru

Создание полимерных материалов с дополнительными функциями является актуальной задачей в области разработки материалов для различных сфер [1]. С целью равномерного диспергирования функциональной добавки в полимерной матрице, регулирования скорости высвобождения и минимизации рисков денатурации функциональных добавок в процессе технологической переработки материалов предлагается применение носителя – наполнителя с развитой удельной площадью поверхности [2]. С применением различных методов реализуется адсорбция/хемосорбция добавок на пористой поверхности частиц наполнителей (поверхностная модификация) и последующее введение в полимер. Применение природных наполнителей в качестве носителей, например, хитозана, целлюлозы, древесной муки, оправдано их высокой способностью к биоразложению и высокой удельной площадью поверхности. Для обеспечения гомогенности наполненных композитов и предупреждения ухудшения физико-механических свойств материалов в результате агломерации частиц наполнителя производится предварительная гидрофобизация или химическая модификация наполнителя [3]. Например, формирование карбоксильных групп в структуре полисахаридных наполнителей в результате окисления, способных реагировать со сложноэфирными группами полиэфиров через свободнорадикальный процесс, позволяет получить наполненные материалы с более однородной структурой [4]. В работе рассмотрены подходы к модификации полимерных материалов за счёт введения функционализированных наполнителей, являющихся носителями антиоксидантных и антимикробных добавок, стимуляторов роста растений [5].

### Список литературы:

- [1] Попов А.А., Зыкова А.К., Масталыгина Е.Е. Russian Journal of Physical Chemistry B **14** (3) 533 (2020).
- [2] Anpilova A.Y., Mastalygina E.E., Khrameeva N.P., Popov A.A. Russian Journal of Physical Chemistry B. **14** (1) 176 (2020).
- [3] Anpilova A.Y., Mastalygina E.E., Khrameeva N.P., Popov A.A. AIP Conference Proceedings **020018** (2018).
- [4] Cabrera M.I., Pantyukhov P.V., Mastalygina E.E., Popov A.A. Биохимическая физика. Труды XVIII Ежегодной молодежной конференции с международным участием ИБХФ РАН-ВУЗы **67** (2018).
- [5] Масталыгина Е.Е., Ахметшина З.Р., Анпилова А.Ю., Пантюхов П.В., Попов А.А. Мульчирующая биоразлагаемая полимерная пленка и способ ее получения (варианты). Патент на изобретение 2737425 С1, 30.11.2020.

### 3-О-18

## ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ ВТОРИЧНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ СЕПАРАТОРОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Пантюхов П.В.<sup>1,2</sup>, Овчинников В.А.<sup>1</sup>, Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>, Абушахманова З.Р.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва

*pantyukhov@mail.ru*

Аккумуляторная батарея состоит из нескольких элементов, основную массу составляют свинцовые пластины, которые изолируют друг от друга с помощью полимерных фильтров. Данные фильтры пропускают раствор электролита, но препятствуют прямому соприкосновению свинцовых пластин. После использования аккумуляторы разбирают, направляя на вторичную переработку свинцовые пластины и полипропиленовые корпуса. Однако сепараторы не подвергаются вторичной переработке поскольку не проявляют свойства текучести при нагреве. Таким образом, вторичное применение материала сепараторов актуально как с экономической, так и экологической точек зрения.

Первичной задачей стало установление химического состава сепараторов. Метод дифференциальной сканирующей калориметрии показал один пик плавления материала при 129°C, ИК-спектр материала соответствовал полиэтилену. Согласно литературным данным, обычно для сепараторов используют сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Экспериментальные данные подтвердили наличие сверхвысокомолекулярного полиэтилена в составе. Методом термогравиметрического анализа было установлено, что материал является высоконаполненным, содержание зольного остатка составило 57 мас.%. Анализ текучести расплава показал отсутствие течения материала во всем диапазоне температур и нагрузок. Состав зольного остатка еще предстоит определить, высоковероятно высокое содержание диоксида кремния и карбоната кальция.

В чистом виде сепараторы невозможно переработать методами литья, экструзии и даже термопрессования. Измельченные сепараторы можно использовать только в качестве дисперсной фазы в матрице другого термопластичного полимера. В качестве полимерной матрицы для дисперсных наполнителей хорошо подходят низкокристаллические полимеры, такие как полиэтилен низкой плотности [1], [2]. Оптимальное соотношение механических характеристик оказалось у образца со стирол-этилен-бутилен-стирольной матрицей, при этом наполнение частицами сепаратора удалось довести до 70%.

#### **Список литературы:**

[1] Пантюхов П.В., Монахова Т.В., Попов А.А. Башкирский химический журнал. 19 (2), 111-117 (2012).

[2] Mastalygina E.E., Pantyukhov P.V., Popov A.A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 369 (1), 012044 (2018).

#### **Благодарность**

*Образцы первичных и вторичных аккумуляторных сепараторов для исследования были предоставлены ЗАО «Агроприбор» (г. Раменское).*

**СЕКЦИЯ 3**

***ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**3-P-01**

**МАГНИТНЫЕ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ  
ПЛЁНКИ**

Бижецкий А.С.

*Кафедра полимеров и кристаллов физического факультета МГУ им. Ломоносова,  
Москва, Россия  
bizhetckii.as19@physics.msu.ru*

В последнее время стали популярны исследования, направленные на создание биосовместимых роботов микроскопического размера [1]. В проведенных исследованиях был синтезирован полимерный материал на основе акриламидного гидрогеля с добавлением магнитных нанопроволок [2]. Полученная тонкая плёнка была подвержена серии механических и оптических испытаний с целью анализа её свойств. Методы равномерного диспергирования нанопроволок и применения получившегося материала также обсуждаются.

**Список литературы:**

- [1] *Chortos, Alex, Jia Liu, and Zhenan Bao.* Nature materials **15.9**, 937-950, (2016).
- [2] *Vivas, L. G., et al.* Nanotechnology **24.10**, 105703 (2013).

## СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИУРЕТАНИМИДОМ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ СМЕСЕЙ В ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДЕ

Буслаев Д.Л., Диденко А.Л., Кудрявцев В.В., Смирнова В.Е., Гофман И.В., Абалов И.В., Юдин В.Е., Бочек А.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
buslaev91@gmail.com*

Целью настоящей работы являлось получение композиционных материалов на основе смесей метилцеллюлозы (МЦ) с полиуретанимидом (ПУИ) и исследование их свойств.

Показано, что введение ПУИ в матрицу МЦ до 50% (мас) приводит к незначительному снижению модуля упругости  $E$ , предела пластичности  $\sigma_p$ , прочности  $\sigma_r$  и предельной деформации до разрушения  $\varepsilon_r$ . Следует отметить, что введение даже 50% ПУИ не отражается на изменении величины прочности на разрыв  $\varepsilon_r$  относительно пленки чистой МЦ. Таким образом, получены композиционные пленки МЦ с содержанием до 50% ПУИ, мало отличающиеся по своим механическим свойствам от пленки эфира целлюлозы.

С помощью метода рентгеновской дифракции изучена структурная организация полученных композиционных пленок. Рефлексы на рентгенодифрактограмме МЦ при угле  $2\theta$  в области  $8-10^\circ$  и  $21.6^\circ$  относятся к плоскостям  $[110]$  и  $[020]$ , и указывают на высокоупорядоченную структуру эфира целлюлозы. В случае ПУИ наблюдается только аморфное гало в области углов  $2\theta \approx 18.0-20.0$  град, показывающее, что ПУИ находится в аморфном состоянии. По мере увеличения в смесях доли ПУИ наблюдается снижение интенсивности рефлексов МЦ, указывающее на аморфизацию эфира целлюлозы. Можно полагать, что взаимодействие макромолекул МЦ с функциональными группами макромолекул ПУИ приводит к замедлению процесса кристаллизации МЦ.

С помощью метода ДМА установлены температуры релаксационных переходов в пленках. Показано, что в смесях, содержащих до 10% ПУИ, не наблюдается температура стеклования ПУИ, что может быть обусловлено малым содержанием ПУИ или его совместимостью с МЦ. Температура стеклования ПУИ наблюдается при его содержании в смесях от 25% и больше. В пленках, содержащих от 5 до 50% ПУИ, наблюдается сдвиг температуры стеклования МЦ в сторону уменьшения от  $177$  до  $169^\circ\text{C}$  (по  $E''$ ) и от  $195$  до  $180^\circ\text{C}$  (по  $\text{tg}\delta$ ). Такой сдвиг температуры указывает на тот факт, что добавки ПУИ в матрицу МЦ приводят к эффекту пластификации эфира целлюлозы. Отметим, что величина  $T_g$  ПУИ (по изменению  $\text{tg}\delta$ ) в смесях с содержанием ПУИ от 10 до 25% также изменяется, что тоже может быть связано с эффектом пластификации одного полимера другим за счет образования водородных связей между макромолекулами разноименных полимеров, в частности между фрагментами МЦ и полиуретана.

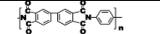
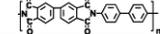
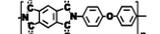
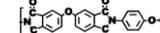
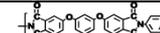
## ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ И НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОЛИЗА

Быкова Е.Н., Гофман И.В., Абалов И.В.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия  
bykova.elena.n@gmail.com*

Рассмотрено влияние углеродных нановолокон (УНВ) и наноконусов/дисков (УНК) на гидролитическую стабильность нанокompозитных пленок на основе термостойких полиимидов (ПИ) различного химического строения (Таблица 1).

Таблица 1 – Химическое строение исследованных ПИ

Химическая структура	Сокращенное название	Надмолекулярная структура
	ДФ-ПФ	мезоморфная
	ДФ-Б	мезоморфная
	ПМ	мезоморфная
	ДФО-ОДФО	аморфная
	Р-СОД	аморфная

Образцы пленок гидролизовали в 30% водном растворе NaOH при комнатной температуре в течение промежутков времени от 0.5 до 1000 ч. Гидролизованые пленки отмывали от следов щелочи и сушили. Гидролитическую стабильность пленок ПИ и нанокompозитов на их основе оценивали по изменению их механических и термических характеристик в процессе гидролиза. Установлено, что на скорость гидролитической деструкции рассмотренных материалов влияет реализованная при их изготовлении плотность упаковки макроцепей. Для ненаполненных пленок ПИ, характеризуемых одинаковой надмолекулярной структурой, наблюдается тенденция к увеличению гидролитической стабильности материала по мере снижения доли избыточного свободного объема и увеличения коэффициента молекулярной упаковки. Показано, что нанокompозитные пленки уступают по гидролитической стабильности пленкам ПИ: при введении 3 об.% УНК и УНВ в матрицу ПМ продолжительность гидролиза до разрушения материала снижается в 10 раз. Этот результат может являться следствием наличия некоторого избыточного свободного объема в композитных пленках, который способствовал увеличению локальных концентраций гидролизующего агента в объеме материала. Для нанокompозитов на основе других исследованных ПИ такого резкого снижения гидролитической стабильности зарегистрировано не было. Использование гибкоцепных ПИ, например, Р-СОД и ДФО-ОДФО, позволяет получать нанокompозитные материалы с повышенной плотностью упаковки макромолекул близкие к матричным ПИ по гидролитической стабильности. Минимизация свободного объема в нанокompозитных пленках и повышение их гидролитической стабильности могут быть достигнуты за счет использования предварительно обработанных наночастиц.

### **Благодарности**

*Ряд форполимеров синтезирован в лаборатории синтеза высокотермостойких полимеров ИВС РАН.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕНАПОЛНЕННЫХ ПОЛИИМИДНЫХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ FDM- ПЕЧАТИ

Ваганов Г.В.<sup>1</sup>, Радченко И.Л.<sup>2</sup>, Поляков И.В.<sup>1,2</sup>, Елоховский В.Ю.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет, Санкт-Петербург  
polyakov-iv@yandex.ru*

В последние годы аддитивные технологии широко используются во многих областях, в том числе в аэрокосмической, медицинской, электронной, архитектурной, пищевой и автомобильной. Наиболее популярной технологией быстрого прототипирования, широко используемой при создании трехмерных моделей, является послойная печать расплавленной полимерной нитью – моделирование методом наплавления (FDM). Основными преимуществами технологии FDM являются низкая стоимость печатного оборудования и возможность получения полимерных деталей сложной конфигурации для мелкосерийного производства. Однако изделия, полученные таким способом, в основном используются для прототипирования, так как имеют более низкие механические характеристики, чем изделия, изготовленные традиционными методами (экструзией или литьем под давлением). Поэтому перспективным направлением в FDM является использование высокопрочных термостабильных термопластичных полимеров и получение на их основе композитов с армирующими углеродными волокнами.

В данной работе для получения композитов использовали аморфный полиэфиримид Ultem 1000 (Guangdong, China) в виде порошка с размером частиц  $\leq 62$  мкм. В качестве армирующего волокнистого наполнителя использовали углеродные волокна. При этом концентрация углеродных волокон в полиэфиримидном композите составляла от 5 мас. до 15 мас.%

Получение композита и филамента на его основе проводили на специальном экструдере для получения филамента при температуре 360°C.

В результате работы были получены филаменты как из чистого, так и композитного образца с углеродными волокнами. Филаменты использовались для FDM-печати трехмерных образцов на разработанной экспериментальной установке для FDM-печати высокотермостойким пластиком при температуре экструдера 390°C, температура платформы составляла 185°C.

Исследована вязкость расплава полученных композитов, термические, механические характеристики и структура полученных напечатанных образцов.

Установлено, что введение 10 % углеродных волокон в Ultem 1000 приводит к значительному возрастанию прочности и модуля при растяжении напечатанных изделий. Одновременно наблюдается снижение деформации при растяжении.

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИЛАКТИДА, СОДЕРЖАЩИХ В КАЧЕСТВЕ  
НАНОПОЛНИТЕЛЕЙ НАНОЧАСТИЦЫ ТЕМОРАСШИРЕННОГО  
ГРАФИТА И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА,  
ПОЛУЧЕННЫХ ЖИДКОФАЗНЫМ СПОСОБОМ**

Гасымов М.М.<sup>1</sup>, Роговина С.З.<sup>1</sup>, Ломакин С.М.<sup>1,2</sup>, Кузнецова О.П.<sup>1</sup>,  
Ермолаев И.М.<sup>1</sup>, Шевченко В.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова  
Российской академии наук, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва*

<sup>3</sup>*Институт синтетически полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова  
Российской академии наук, г. Москва  
mrzlomiraga@mail.ru*

Создание новых композиционных материалов на основе термопластичного алифатического полиэфира полилактида (ПЛА) с использованием в качестве нанонаполнителей производных графита является относительно новым и перспективным направлением работ, проводимых в этой области и вызывающих повышенный интерес. Благодаря уникальным структурным и механическим характеристикам наноуглеродных наполнителей, возможно получение полимерных композиций с уникальным комплексом свойств. В работе получены композиции ПЛА с нанопластинами графита (НПГ) и восстановленного оксида графена (ВОГ) в широком диапазоне концентраций. Композиции получены жидкофазным методом в растворе хлороформа при перемешивании ультразвуком. Для исследования распределения частиц наполнителя по размерам применялся метод лазерной дифракции. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) установлено различие структуры композиций, обусловленное различным распределением НПГ и ВОГ в полимерной матрице. Исследование влияния наполнителя на характеристики композиций показало, что присутствие НПГ и ВОГ различным образом влияет на изменение механических и электрических характеристик, а также на увеличение термостабильности по сравнению с исходным ПЛА, что связано с особенностями структуры наполнителей. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) рассчитаны тепловые эффекты стеклования, кристаллизации и плавления ПЛА в композициях, содержащих НПГ и ВОГ. Полученные данные свидетельствуют о различной сегментальной подвижности ПЛА в присутствии НПГ и ВОГ. Таким образом, проведенные исследования продемонстрировали различное влияние природы наполнителей НПГ и ВОГ на комплекс свойств композиций, полученных жидкофазным способом. Разработанные материалы могут найти применение в современных высокотехнологичных устройствах, включая солнечные батареи, сенсорные экраны, а также в биомедицине.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ проекта 22-23-00369).*

**АМФИФИЛЬНЫЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ СТИРОЛА С  
4-ВИНИЛПИРИДИНОМ ИЛИ  
ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТОМ И ИХ  
НАНОКОМПОЗИТЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА**

Горшкова А.Р.<sup>1</sup>, Саломатина Е.В.<sup>1,2</sup>, Лукичев И.<sup>1,2</sup>, Пикулин А.В.<sup>2</sup>, Смирнова Л.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт прикладной физики РАН  
salomatina\_ev@mail.ru*

Предложен новый способ получения амфифильных блок-сополимеров полистирола (пСт) с гидрофильными мономерами – 4-винилпиридином (4ВП) или N,N-диметиламиноэтилметакрилатом (ДМАЭМА) методом радикальной полимеризации с использованием бифункциональных агентов передачи цепи – трихлорсилана и диметилхлорсилана, реакционная способность активных групп которых существенно отличается. Способ заключается в последовательном проведении двух процессов – гомополимеризации одного из мономеров на первой стадии в присутствии указанных агентов передачи цепи с образованием продуктов, содержащих на конце реакционноспособные Si – Cl группы, которые далее при введении второго мономера противоположной полярности выступают как макропередатчики при синтезе блок-сополимеров. Формирование блок-сополимеров доказано результатами гель-проникающей хроматографии и ИК-спектроскопии по наличию в спектрах характеристических полос колебаний, соответствующих функциональным группам звеньев различной природы. Показано, что различная реакционная способность макрорадикалов в реакциях передачи цепи позволяет контролировать молекулярную массу блоков в сополимерах, варьируя последовательность стадий полимеризации полярного и неполярного мономеров. Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что природа гидрофильного блока и его молекулярной массы в блок-сополимерах со стиролом обуславливает особенности их структурной самоорганизации в пленках. Для блок-сополимеров с 4ВП характерно образование шарообразных мицелл и везикул, а в случае ДМАЭМА – вертикально ориентированная укладка ламелей канального типа. При увеличении длины блока полистирола происходит укрупнение (размытие) структур. Синтезированные блок-сополимеры с различной молекулярной массой и природой блоков использованы в качестве стабилизаторов при формировании наночастиц (НЧ) Au в растворах и пленках при *in situ* УФ-восстановлении H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub>. Спектрофотометрическим методом исследован процесс образования НЧ Au. Установлено, что в сополимерах с 4ВП наночастицы Au имеют размер ~ 2 нм, с ДМАЭМА ~ 30 нм. Изменение природы растворителя блок-сополимера и pH среды оказывает сильное влияние на размер НЧ.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-79-10262) и Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.*

## ГИДРОФИЛЬНЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ

Генералов Р.И.<sup>2</sup>, Есина А.В.<sup>1</sup>, Неверовская А.Ю.<sup>1</sup><sup>1</sup>Научно-исследовательский институт синтетического каучука,  
г. Санкт-Петербург<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), г. Санкт-Петербург  
av.esina@fgupniisk.ru

Полимерные композиты на основе эпоксидных олигомеров находят широкое применение в качестве основы клеев, лакокрасочных покрытий, компаундов, связующих армированных пластиков. В частности, покрытия на основе эпоксидных полимеров используются для защиты труб нефтепроводов от осаждения на их поверхность асфальто-смолисто-парафиновых веществ. В этом случае, дополнительно к высоким адгезионным характеристикам, желательно, чтобы эпоксидные полимеры характеризовались также повышенной гидрофильностью. Ожидается, что гидрофильность покрытия должна препятствовать осаждению гидрофобных нефтяных парафинов на поверхности труб. К настоящему времени показано, что гидрофильность покрытия может быть обеспечена как химически – изменением архитектуры макроцепи эпоксидных олигомеров [1], – так и модификацией матрицы эпоксидного форполимера высокодисперсными добавками [2]. В настоящей работе сделана попытка улучшения гидрофильных свойств эпоксидных полимеров как результата модификации эпоксидного полимера 1D и 2D нанокремнеземом. 2D графеновые нанокремнеземы были получены карбонизацией биополимера (микроцеллюлозы) в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Для отвержденных эпоксидных полимеров были получены значения их краевого угла смачивания водой. Наши эксперименты показали, что модификация эпоксидного полимера 2D графеновыми структурами позволили снизить краевой угол смачивания от 77°, характерного для исходного полимера, до 35-36° для модифицированного полимера. Было также продемонстрировано, что значение краевого угла смачивания зависит от степени наполнения полимера модификатором. Наилучший результат был получен при степени наполнения 3.2 массовых частей графеновых структур на 100 массовых частей полимера.

**Список литературы:**

- [1] Фосс Л.Е., Фахретдинов П.С., Романов Г.В., Маргулис Б.Я., Богданова С.А., Галяметдинов Ю.Т. Вестник Казанского технологического университета. **10**, 178-180, (2011).
- [2] Sunny A.T., Mozetic M., Primc G., Mathew S., Thomas S. Composites Science and Technology. **146**, 34-41, (2017).

## ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И ПОДГОТОВКИ НАНОУГЛЕРОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ МАТРИЦЫ ПОЛИУРЕТАНОВ

Нечаева Е.А.<sup>2</sup>, Есина А.В.<sup>1</sup>, Неверовская А.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт синтетического каучука,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет),*

*г. Санкт-Петербург  
av.esina@fgupniisk.ru*

В настоящее время значительно ужесточились требования к конструкционным полимерным материалам. По сути, современному полимерному материаловедению требуются материалы нового поколения. В условиях исчерпания доступной мономерной базы полимеров общего и специального назначения приемлемым, а иногда и единственным, путем создания материала с необходимым комплексом эксплуатационных параметров является формирование композиционных материалов базового полимера и аллотропных форм нанокремнезема. При этом следует учитывать, что свойства финишного композита в равной степени зависят как от полимерной матрицы, так и от нанодисперсного наполнителя. В этой связи, этап предварительной подготовки нанодисперсного наполнителя с целью обеспечения его равномерного распределения по объему полимерной матрицы является весьма важным этапом формирования полимерных наноконструктов.

Нами разработаны методики химической и физической активации наиболее часто используемых в качестве наполнителей 1D и 2D аллотропных форм нанокремнезема, обеспечивающих равномерное распределение их в матрице полимера.

Ансамбли активированных частиц нанокремнезема были охарактеризованы комплексом взаимодополняющих методов анализа: электронной микроскопии, спектральных методов анализа (рентгеновской дифрактометрии, рамановской спектроскопии, UVviz), дополненных удельной поверхностью частиц нанокремнезема до и после процессов активации.

В качестве модели полимерной матрицы был выбран форполимер из полиэфира и ароматического диизоцианата, отверждением которого, как ненаполненного, так и наполненного нанокремнеземами, были получены соответствующие полиуретаны. Была прослежена корреляционная связь реологических свойств наполненных образцов форполимера с комплексом упруго-прочностных параметров отвержденного полиуретана. Методом атомно-силовой микроскопии было подтверждено равномерное распределение частиц наполнителя по объему полученного наноконструкта.

### **Благодарности**

*2D нанокремнеземы синтезированы в секторе полимерных наногетерогенных материалов НИИСК. Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему сектором Возняковскому А.П.*

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИФЛУОРЕНОВ В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ

Зеленцов М.Д.<sup>1</sup>, Симонова М.А.<sup>2</sup>, Жукова Е.С.<sup>2</sup>,  
Якиманский А.В.<sup>2</sup>, Литвинова Л.С.<sup>2</sup>, Филиппов А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Высшая школа технологии и энергетики,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
dart.xergus@yandex.ru*

Сополифлуорены характеризуются высоким уровнем химической и термической стабильности, простотой изготовления, экологичностью, растворимостью и гибкостью плёночных покрытий, а также высокой квантовой фотолюминесценцией. Более того, возможность прививки различных функциональных групп на боковые цепи сополифлуоренов без нарушения сопряжения в главной цепи является причиной интереса к сополифлуоренам. Исследования в области сополифлуоренов тесно связаны с развитием химических структур с определенными оптическими, электронными и плёнообразующими свойствами и снижением себестоимости синтеза полимера. Оптические и люминесцентные свойства этих полимеров существенно зависят от конформации цепи.

Таким образом, контроль молекулярно-гидродинамических характеристик и морфологии сопряжённых полимерных плёнок крайне важен для улучшения характеристик ключевых оптоэлектронных и фотонных устройств.

Цель работы: установление влияния структуры сомономеров на молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики сополифлуоренов в разбавленных растворах. В связи с этим методами молекулярной гидродинамики и оптики исследованы разбавленные растворы линейных полифлуоренов и их производных-сополифлуоренов, различающихся молекулярной массой, и структурой сомономеров. В качестве растворителя был использован хлороформ.

Для линейных полифлуоренов и сополифлуоренов зафиксировано существование одной моды, отражающей движение изолированных макромолекул. Однако, в случае сополифлуоренов с мольной долей 0,1 пара-карбазольных единиц в хлороформе зафиксировано агрегатообразование.

Установлено, что для всех сополифлуоренов, независимо от структуры бокового заместителя сомономеров, равновесная жёсткость близка к жёсткости цепей для линейного полифлуорена.

## ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ МАТРИЦ

Ким Э.Е.<sup>1</sup>, Белова А.С.<sup>1</sup>, Кононевич Ю.Н.<sup>1</sup>, Польщикова Н.В.<sup>1</sup>,  
Филимонова Л.В.<sup>1</sup>, Сергиенко Н.В.<sup>1</sup>, Никифорова Г.Г.<sup>1</sup>, Бузин М.И.<sup>1</sup>,  
Щеголихина О.И.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва.

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова,  
г. Москва.  
*ela-kim@mail.ru*

Получение материалов и покрытий, обладающих люминесцентными свойствами, – активно развивающееся и актуальное в настоящее время направление. Это связано с потенциальным применением таких материалов в качестве оптических сенсоров, светоизлучающих диодов, индикаторных покрытий и т.д. [1].

Одним из наиболее распространенных синтетических подходов является получение композиционных материалов на основе полимерных матриц, допированных ионами редкоземельных элементов, обладающих люминесценцией в различных областях спектра. Кремнийорганические полимеры и их производные обладают рядом ценных свойств, позволяющих широко использовать их в качестве матриц: прозрачность в видимом и УФ-диапазоне, гидрофобность, термическая стабильность, возможность модификации структуры для придания необходимых физических свойств.

В данной работе нами была получена серия люминесцентных композиционных полимерных материалов на основе двух матриц: силоксанового блок-сополимера типа «Блоксил» и полисилоксан(пропиленоксид)мочевинуретанового полимера. В качестве источников ионов  $\text{Eu}^{3+}$  и  $\text{Tb}^{3+}$  были использованы органометаллосилоксаны различного строения. Было изучено влияние добавок органических и кремнийорганических лигандов на люминесцентные свойства материалов, а также исследованы их термические, механические и оптические свойства.

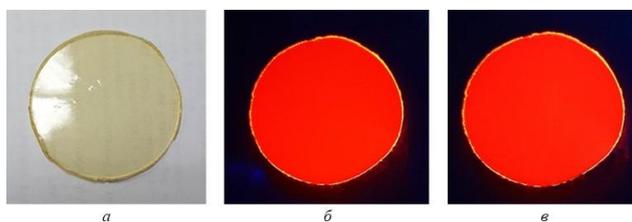


Рис. 1 – Пленка на основе полисилоксан(пропиленоксид)мочевинуретановой матрицы, допированной ионами  $\text{Eu}^{\text{III}}$  и кремнийорганическим лигандом при дневном свете (а), при облучении светом  $\lambda=254$  нм (б), при облучении светом  $\lambda=365$  нм (в).

### Список литературы:

[1] Bai G., Tsang M., Hao J. Adv. Funct. Mater. **26**, 6330 (2016).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант №19-29-13014 МК).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТОКОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ НИТЕЙ

Кириченко С.О.<sup>1,2</sup>, Москалюк О.А.<sup>1</sup>, Лятун И.И.<sup>1</sup>, Шиловских В.В.<sup>1</sup>,  
Голдаев А.Н.<sup>1,3</sup>, Снигирев А.А.<sup>1</sup>, Погребняков П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

<sup>2</sup> ООО «Ампертекс», г. Калининград

<sup>3</sup> ООО «Сумма Нанотехнологий», г. Калининград

*olga-moskalyuk@mail.ru*

Достижение требуемых электрофизических и механических свойств у композитных нитей происходит посредством формирования заданной надмолекулярной структуры полимерной матрицы и равномерного распределения наночастиц в межфибриллярных областях [1, 2]. В данной работе представлены результаты исследований физико-механических свойств и особенностей надмолекулярной структуры электропроводящих композитных полимерных нитей и ее трансформации в процессе ориентационного высокотемпературного вытягивания. Объектами исследований были промышленно выпускаемые образцы электропроводящих композитных полимерных нитей производства AMPERETEX (Калининградская обл., индустриальный парк Храброво). Результирующая линейная плотность нитей составляет 64 текс. Исследуемые образцы представляли собой композит, полученный на основе волокнообразующей термопластичной матрицы и электропроводящего наполнителя в виде смеси аллотропных форм углерода. Оценка физико-механических свойств композитных нитей проводилась с использованием универсальной испытательной машины Instron 34NM-10 в режиме одноосного растяжения и определения прочности в простом узле. Электропроводность композитных нитей определялась путем измерений поверхностного электрического сопротивления при расстоянии электродов 1 м. Для данной цели использовался вольтметр GDM-79061. Методом высокоразрешающей электронной микроскопии на двухлучевой FIB-SEM системе Zeiss Crossbeam 540 была исследована равномерность распределения углеродных наночастиц в полимерной матрице и особенности надмолекулярной структуры токопроводящих композитных нитей в неориентированном и ориентированном состояниях, выполнена оценка пластичности нитей в условиях пониженных температур.

### Список литературы:

[1] Ivan'kova E., Kasatkin I., Moskalyuk O., Yudin V., Jose Maria Kenny. J. Appl. Polym. Sci. **132**, 41865 (2015). [2] Ivan'kova E., Kasatkin I., Vaganov G., Elokhovskiy V., Bugrov A., Yudin V., Pavlova E., Slouf M. Materials **15**(10), 3531 (2022).

### Благодарности

Исследование образцов методом электронной микроскопии были выполнены на двухлучевой станции Zeiss Crossbeam 540, входящей в состав уникальной научной установки «Научно-образовательный многофункциональный комплекс подготовки и проведения синхротронных исследований» (УНУ «SynchrotronLike»). Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И.Канта.

## МАГНИТОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НОВОГО ТИПА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОРИЕНТАЦИИ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ IN SITU

Костров С.А.<sup>1,2</sup>, Шейко С.С.<sup>3</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2,4</sup>

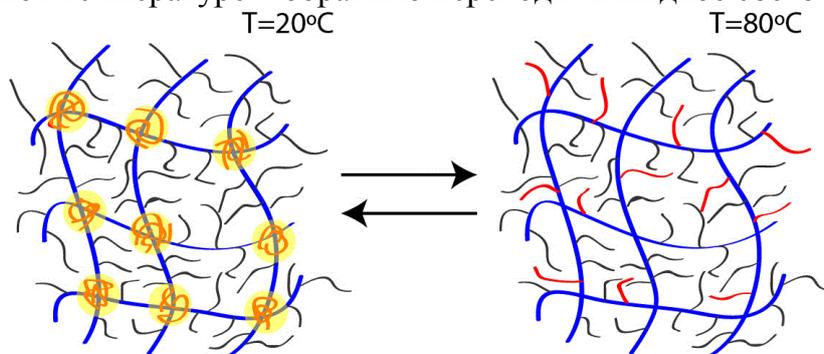
<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва

<sup>2</sup>ИСПМ им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, г. Москва

<sup>3</sup>Department of Chemistry, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill  
27599, United States

<sup>4</sup>ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, г. Москва  
sergeykostrov1996@gmail.com

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) представляют собой композитные материалы, которые состоят из магнитных микро- или наночастиц, внедренных в полимерную матрицу. При помещении МАЭ в магнитное поле магнитные частицы стремятся ориентироваться в цепочки, направленные вдоль направления внешнего приложенного магнитного поля, за счет чего изменяются физические свойства материала. При этом упругие силы полимерной матрицы препятствуют перемещению магнитных частиц из начального положения. В данной работе были созданы и исследованы магнитные композиции на основе сополимера, представляющего собой молекулярную щетку с двумя типами боковых цепей. При комнатной температуре такие системы находятся в высокоэластичном состоянии за счет сегрегации цепей одного типа и формирования мицеллярных агрегатов, а при повышенной температуре – обратимо переходят в жидкое состояние.



Изучены вязкоупругие свойства полученных композитов с различными типами и концентрациями магнитного наполнителя, на основе полимеров различного состава в зависимости от температуры и величины магнитного поля. Показано, что при высокой температуре материал демонстрирует повышенный магнитный отклик, а за счет особенностей полимерной матрицы можно управлять ориентацией цепочек магнитного наполнителя с помощью магнитного поля и температуры.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-13-00340П). Костров С.А. благодарит Фонд развития теоретической физики и математики “БАЗИС” за финансовую поддержку.

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ КРИОГЕЛИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА,  
НАПОЛНЕННЫЕ ФОСФАТАМИ КАЛЬЦИЯ**

Лыткина Д.Н., Садыков Р.Т., Шалыгина К.Д., Курзина И.А.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск  
darya-lytkina@yandex.ru*

Несмотря на прогресс в развитии биомедицинского материаловедения, на сегодняшний день в клинической практике отсутствуют резорбируемые имплантаты для реконструкций костной ткани с прогнозируемыми физико-химическими свойствами [1]. Одним из вариантов решения этой задачи может стать разработка новых материалов на основе гидроксиапатита, который стимулирует остеосинтез, включенного в полимерную матрицу. А полимерные криогели являются одними из биоматериалов с трехмерной каркасной структурой, в которые могут быть включены клетки в соответствии с потребностями в клинических исследованиях тканевой инженерии. Благодаря их макропористости, криогели обеспечивают подходящую среду для передачи клеток, инфильтрации и неоваскуляризации [2]. Композиционные материалы на основе 10 % раствора поливинилового спирта, минерализованного гидроксиапатитом, были синтезированы из раствора гидроксида кальция, гидрофосфата аммония или фосфорной кислоты. Методом рентгенофазового анализа установлено, что основной фазой минерального наполнителя композита является гидроксиапатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , однако при использовании гидрофосфата аммония реакция протекает не до конца и в итоговом композите присутствует фаза гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в материале синтезированном из фосфорной кислоты присутствует фаза гидрофосфата кальция  $\text{CaHPO}_4$ . Модуль упругости композитов не превышает 157 кПа. Исследование морфологии поверхности композитов показало наличие однородной структуры, средний размер частиц гидроксиапатита составлял не более 3 мкм. Исследование жизнеспособности моноцитов, инкубированных в присутствии материалов, показало отсутствие существенной разницы уровня жизнеспособности клеток между композитами, синтезированными с использованием гидрофосфата аммония или фосфорной кислоты, также он сопоставим с контрольным образцом (клетки, инкубированные без материалов).

**Список литературы:**

- [1] Lytkina D.N.; Fedorishin D.A.; Kalachikova P.M.; Plyaskina A.A.; Babeshin A.R.; Kurzina I.A. Journal of Functional Biomaterials. **12**, 18 (2021).  
[2] Hixon K.R.; Lu T.; Sell S.A. Acta Biomaterialia. **62**, 29–41 (2017).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке грантов президента российской федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук мк-2182.2022.1.3.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ

Лятун И.И.<sup>1</sup>, Медведская П.Н.<sup>1</sup>, Баранников А.А.<sup>1</sup>, Юнкин В.А.<sup>2</sup>, Зверев Д. А.<sup>1</sup>,  
Снигирев А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

<sup>2</sup>Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов  
РАН, г. Черногловка  
ivanlyatun@gmail.com

Существующие технологии микроstructuring полимерных материалов позволяют существенно расширить функционал преломляющей оптики для жесткого рентгеновского излучения [1]. Использование глубокой рентгеновской литографии и LIGA-технологий позволяет изготавливать фокусирующую оптику из полимеров SU-8 и PMMA высокого качества для когерентных источников рентгеновского излучения [2,3]. Современные методы 3D печати на основе эффекта двухфотонной полимеризации открывают возможности создания высокоразрешающих микрообъективов с нанометровым разрешением [4]. Перспективность использования полимерных материалов в области рентгеновской оптики связана с высокой степенью их рентгено-гомогенности и малым вкладом рассеянного излучения в отличии от образов металлической оптики [3].

В работе представлены результаты исследования оптических характеристик полимерных составных преломляющих рентгеновских линз, стойкости полимерных материалов при воздействии ионизирующего рентгеновского излучения высокой плотности [5]. Работа содержит оценки возможности и перспектив использования полимерной оптики на установках класса Мегасайенс.

### Список литературы:

- [1] A. Snigirev, V. Kohn, I. Snigireva, and B. Lengeler, *Nature* **384**, 49 (1996).
- [2] A. Snigirev, I. Snigireva, M. Drakopoulos, V. Nazmov, E. Reznikova, S. Kuznetsov, M. Grigoriev, J. Mohr, V. Saile, and S. T. I. S. for O. Engineering, *Proceedings of SPIE* **5195**, 21 (2003).
- [3] T. Roth, L. Alianelli, D. Lengeler, A. Snigirev, and F. Seiboth, *MRS Bulletin* **42**, 430 (2017).
- [4] A. K. Petrov, V. O. Bessonov, K. A. Abrashitova, N. G. Kokareva, K. R. Safronov, A. A. Barannikov, P. A. Ershov, N. B. Klimova, I. I. Lyatun, V. A. Yunkin, M. Polikarpov, I. Snigireva, A. A. Fedyanin, and A. Snigirev, *Optics Express* **25**, 14173 (2017).
- [5] A. Barannikov, M. Polikarpov, P. Ershov, V. Bessonov, K. Abrashitova, I. Snigireva, V. Yunkin, G. Bourenkov, T. Schneider, and A. A. Fedyanin, *Journal of Synchrotron Radiation* **26**, 714 (2019).

### Благодарности

Исследование полимерной рентгеновской оптики было выполнено на уникальной научной установке «Научно-образовательный многофункциональный комплекс подготовки и проведения синхротронных исследований» (УНУ «SynchrotronLike»). Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства "Приоритет 2030" БФУ им. И.Канта.

## ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ МОНОФИЛОМЕНТНОЙ КОМПОЗИТНОЙ НИТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

Молчанов Д.В.<sup>1,2</sup>, Москалюк О.А.<sup>1</sup>, Кириченко С.Ю.<sup>1,2</sup>, Шиловских В.В.<sup>1</sup>,  
Голдаев А.Н.<sup>2</sup>, Погребняков П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>БФУ им. И. Канта, Лаборатория «Полимерные и композиционные материалы  
«Smart Textiles» МНИЦ «РО», г. Калининград

<sup>2</sup>ООО «Ампертекс», г. Калининград  
denmolw@gmail.com

Уникальные электрические и механические характеристики полимерных нанокompозитных материалов в настоящее время являются объектом исследования многих ученых и привлекают все большее внимание со стороны высокотехнологичных промышленных предприятий. Изделия, полученные на их основе, находят широкое применение в антистатических, теплорассеивающих, тепло- и электропроводящих конструкциях, электронных компонентах, сенсорных датчиках и других электротехнических изделий [1-4].

В данной работе представлены результаты исследования электропроводящих свойств экструдированной полимерной монофиламентной нити, наполненной углеродными наноаддитивами различной формы, находящейся под воздействием механической и тепловой нагрузки. Исследуемые образцы нитей были получены на производственной площадке компании AMPERETEX методом экструзии из расплава с использованием двухшнекового экструдера LabTech с последующей высокотемпературной вытяжкой через туннельную печь. Полимерной матрицей был выбран крупнотоннажный термопластичный полимер – полипропилен с ПТР 27 г/10 мин. В качестве электропроводящего наполнителя использовалась смесь из углеродных наноаддитивов различной формы: сферической и протяженной. При помощи потенциостата-гальваностата Solartron 1287A определены пределы проводимости в монофиламентной композитной нити при воздействии внешней температуры в пределах от -30 до 80°C. Проведена оценка влияния деформации монофиламентной нити на ее электропроводимость при одноосном растяжении с использованием универсальной испытательной машины Instron 34ТМ-10. Скорость растяжения составляла 200 мм/мин, базовая длина - 250 мм.

### Список литературы:

[1] Grancaric A. M, Jerkovic I., Koncar V., Cochrane C., Kelly F. M, Soulat D., Xavier Legrand. *Journal of Industrial Textiles*. **48** (3), 612 (2018). [2] Kim B., Koncar V., Devaux E., Dufour C., Viallier P. *Synthetic Metals*. **146** (2), 167 (2004). [3] Ronghui Wu, Liyun Ma, Aniruddha Patil, Chen Hou, Shuihong Zhu, Xuwei Fan, Hezhi Lin, Weidong Yu, Wenxi Guo, and Xiang Yang Liu. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **11** (36), 33336 (2019). [4] Moskalyuk O.A., Tsobkallo E.S., Stepashkina A.S., Yudin V.E. *Key Engineering Materials*. **816**, 244 (2019).

### Благодарности

Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И.Канта.

**НАНОЧАСТИЦЫ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ: ЭФФЕКТИВНЫЙ  
ИНСТРУМЕНТ МОДИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ  
ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК**

Николаева А.Л.<sup>1</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>, Соколова М.П.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>1</sup>, Абалов И.В.<sup>1</sup>,  
Власова Е.Н.<sup>1</sup>, Гофман И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург  
alexandra.l.nikolaeva@gmail.com*

Изготовлена серия нанокомпозитных пленок на основе ряда полиимидов, наполненных наночастицами оксидов металлов ( $ZrO_2$ , либо  $TiO_2$ ). Полученные пленки охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и рентгеноструктурного анализа, а их термические и механические свойства исследованы с использованием термогравиметрического, дифференциального термического и термомеханического анализов. Обнаружено, что физические свойства полученных материалов определяются не только химической структурой самого полиимида, но и типом, размером, поверхностной модификацией и концентрацией нанонаполнителя. Продемонстрированы некоторые закономерности термического и механического поведения материалов в зависимости от этих особенностей. Полученные данные могут представлять большой интерес в тех областях применения, где необходимы новые материалы с улучшенными функциональными характеристиками.

**Благодарности**

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-00159.*

## ПЕНООБРАЗУЮЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ

Полотнянщиков К.С.<sup>1</sup>, Светличный В.М.<sup>2</sup>, Ваганов Г.В.<sup>2</sup>, Мягкова Л.А.<sup>2</sup>,  
Попова Е.Н.<sup>2</sup>, Иванькова Е.М.<sup>2</sup>, Юдин В.Е.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
*konstantin.polotn@gmail.com*

Развитие современной авиационной отрасли выдвинуло ряд новых требований к материалам [1], важнейшими из которых являются увеличение устойчивости, жесткости и в то же время снижение массы конструкций самолета, что может быть достигнуто благодаря использованию легких заполнителей [2]. В последние годы в качестве легкого заполнителя трехслойных панелей в авиационной технике стали применять пенопласты: в странах Западной Европы, США и Японии – пенопласты на основе полиимидных смол, в России – на основе чистых или модифицированных каучуками фенолформальдегидных смол. Особый интерес представляют пенопласты из полиимидов, образуемых вспениванием предварительно получаемого форполимера. В основе синтеза пенообразующих форполимерных композиций лежит ацилирование диаминов кислыми диэфирами [3]. В ходе этой реакции происходит формирование промежуточных соединений, которые при термообработке образуют полиимидные пеноматериалы.

В работе проведено исследование условий образования пенообразующих форполимеров и изучение влияния структуры исходного диангида на свойства получаемых пеноматериалов. Пенообразующие форполимеры получали на основе диангидридов 3,3',4,4'-бензофенонтетракарбоновой кислоты, 3,3',4,4'-дифенилоксидтетракарбоновой кислоты при использовании этилового спирта и 4,4'-диаминодифенилоксида. Процесс формирования промежуточных соединений и структуру форполимеров исследовали с помощью ИК-спектроскопии. Показано, что использование 4,4'-оксидфталевого ангидрида приводит к увеличению жесткости материала и снижению его эластичности. Полученные пеноматериалы обладают хорошей термостойкостью (начало потери массы наблюдается с 450 °С); плотность варьируется в пределах от 12,4 до 16,6 кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга составляет 105-196 КПа, напряжение при разрушении – 10,76-17,34 КПа; эластичность – 17-11%.

### Список литературы:

- [1] Каблов Е. Н. *Металлы Евразии*. **3**, 10 (2012).
- [2] Дорошенко Н. И., Чурсова Л. В. *Авиационные материалы и технологии*. **2**, 16 (2012).
- [3] Johnston C. J., Meador A. B., *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* **25** (9), 2175 (1987).

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТРИАЦЕТАТА- И ДИАЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ГРАФЕНОМ

Терехова Е.А., Афанасьева Н.В., Лаврентьев В.К., Гофман И.В., Абалов И.В.  
Бочек А.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
diza97@bk.ru*

Целью настоящей работы являлось получение нанокомпозиционных пленок и исследование их электропроводности, механических характеристик и структурной организации.

В растворы триацетата целлюлозы (ТАЦ) в смешанном растворителе (метиленхлорид с метанолом) и диацетата целлюлозы (ДАЦ) в диметилформамиде введены суспензия графена и суспензия восстановленного графена в диметилформамиде соответственно. Методом сухого формования получены композиционные пленки и изучены их электропроводность, структурная организация и механические характеристики.

Показано, что введение до 0.1% мас графена (от массы полимера) в матрицу ТАЦ привело к увеличению удельной проводимости на три порядка (от  $1.0 \times 10^{-16}$  до  $7.1 \times 10^{-14}$  См/м). При более высоком содержании графена наблюдается снижение электропроводности, связанное с коалесценцией наночастиц графена в более крупные агрегаты (микрочастицы), вызванное плохой совместимостью компонентов (полимера и графена).

Введение в матрицу ДАЦ восстановленного графена в количестве до 0.05% (мас) от массы полимера сопровождается увеличением электропроводности более, чем на порядок (от  $5.0 \times 10^{-14}$  до  $9.2 \times 10^{-13}$ ). При концентрации восстановленного графена до 0.14% (мас) наблюдается незначительное снижение электропроводности.

Изучена структурная организация нанокомпозиционных пленок. Показано, что графен в матрице ТАЦ имеет слоистую структуру, характерную для неактивированной формы. Так же показано, что восстановленный графен при его содержании в матрице ДАЦ до 0.1% (мас) находится в виде диспергированных слоев. При большей концентрации графена наблюдается увеличение упорядоченности ДАЦ, вероятно, связанное с началом образования слоистых микроструктур графена.

Введение графена в матрицу полисахаридов не приводит к улучшению прочностных характеристик композиционных пленок (пленки становятся хрупкими) вследствие плохой совместимости полимера с наночастицами наполнителя.

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ И МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

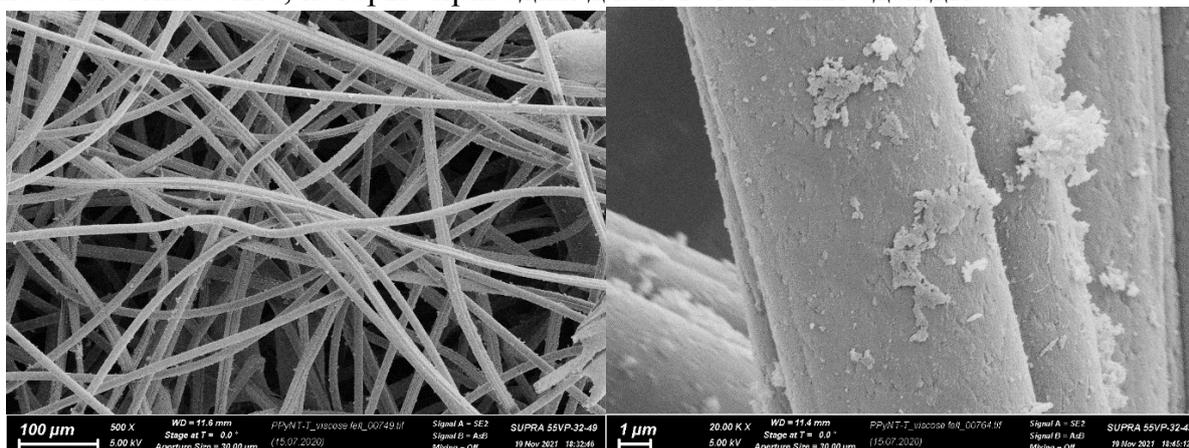
Шишов М.А.<sup>1,2</sup>, Завражных Н.Е.<sup>2</sup>, Щербаков А.Е.<sup>3</sup>, Спивак Ю.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) СПбГЭТУ  
shv\_misha@mail.ru

Электронный текстиль или «умный текстиль», это пористый, растяжимый, гибкий и легкий материал, который помимо основных покровных функций, обладает дополнительными функциями, например, в сферах коммуникации, энергоснабжения, мониторинга жизнедеятельности или специальных мер защиты. Данные материалы могут реагировать на внешние воздействия, такие как электрическое или магнитное поле, химические или биохимические агенты, температура, механические силы и т.д.. При этом материал может не только передавать эти сведения, т.е. участвовать в телекоммуникации, но и адаптироваться в соответствии с условиями внешней среды. Технологии, связанные с получением электронного текстиля, переживают колоссальный прогресс, при этом критически важным звеном здесь являются материалы, используемые для его создания. Последними тенденциями является разработка многоуровневых, и многофункциональных волокон, сформированных из различных материалов, обладающих хорошими механическими свойствами и биосовместимостью, которые пригодны для изготовления одежды.



Важную роль при разработке «умного текстиля» играют электропроводящие полимеры. На основе нетканого смесового полотна, электропроводящего полимера и неорганических добавок получен биосовместимый текстиль, обладающий электропроводящими и магнитными свойствами. Приводится состав и структура материала (Рисунки СЭМ), его механические, магнитные характеристики, уровень электропроводности и окислительно-восстановительной активности. Обсуждается возможность использования материалов для биомедицинской диагностики, а также для защиты человека от электромагнитного излучения.

**СЕКЦИЯ 4**

***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ  
МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

**4-О-01**  
**СИСТЕМЫ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТАВКИ**  
**ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОГО АГЕНТА ДЕКСАМЕТАЗОНА**  
**НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА**

Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
qwezakura@yandex.ru*

Интравитреальное введение является одним из наиболее эффективных способов доставки лекарственных средств в задний отрезок глаза для лечения офтальмологических заболеваний. Однако при длительном применении инъекции могут привести к отслойке сетчатки и снижению эффективности терапии. Поэтому необходимы интравитреальные системы доставки, так как они обладают пролонгированным действием и могут поддерживать терапевтические концентрации в течение длительного времени [1]. Использование полимерных конъюгатов, таких как кортикостероид дексаметазон (Dex), для интравитреальной доставки имеет большой потенциал, но используется редко [2].

Цель исследования — разработать метод конъюгации Dex с хитозаном (CS) для возможного использования в качестве системы доставки Dex в стекловидное тело. Для достижения этой цели мы преследовали следующие цели: (I) получение и характеристика сукцинилдексаметазона (SucDex), (II) разработка метода синтеза и характеристика конъюгатов Dex-CS, (III) сукцинирование Dex-CS с образованием отрицательно заряженных частиц (Dex-SucCS) и (IV) изучение физико-химических характеристик конъюгатов (гидродинамический диаметр и  $\zeta$ -потенциал) и кинетики высвобождения Dex.

Сначала мы использовали химию карбодиимида для конъюгации Dex с CS через сукцинильный линкер, а затем модифицировали полученный конъюгат янтарным ангидридом, чтобы придать отрицательный  $\zeta$ -потенциал поверхности полимерной частицы. Полученные полисахаридные носители имели степень замещения фрагментами Dex 2–4%, содержание Dex 50–85 мкг/мг и степень сукцинирования 64–68%. Размер полученных частиц составлял 400–1100 нм,  $\zeta$ -потенциал – от –30 до –33 мВ. Исследования высвобождения *in vitro* при pH 7,4 показали медленный гидролиз амидных и сложноэфирных связей в синтезированном конъюгате с общим высвобождением 8–10% как для Dex, так и для SucDex через 1 месяц. Разработанные конъюгаты показали значительный противовоспалительный эффект в моделях воспаления, индуцированного TNF $\alpha$  и LPS, подавляя экспрессию CD54 в клетках THP-1 в 2 и 4 раза, соответственно [3]. Таким образом, эти новые конъюгаты сукцинилхитозан-дексаметазон (Dex-SucCS) являются многообещающими офтальмологическими носителями для интравитреальной доставки.

**Список литературы:**

[1] Cox J.T., Elliott D., Sobrin L. Journal of Clinical Medicine. **10**, 981 (2021). [2] Bhattacharya M., Sadeghi A., Sarkhel S., Hagström M., Bahrpeyma S., Toropainen E., Auriola S., Urtti A. Journal of Controlled Release. **327**, 584 (2020). [3] Dubashynskaya N.V., Bokaty A.N., Skorik Y.A. Biomedicines. **9**, 341 (2021).

## МОДИФИКАЦИЯ ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА ОЛИГОМЕРАМИ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-ε-КАПРОЛАКТОНА

Соломаха О.А.<sup>1</sup>, Степанова М.А.<sup>1</sup>, Гофман И.В.<sup>1</sup>, Рабчинский М.К.<sup>2</sup>, Рыжков С.А.<sup>2</sup>, Антонов Г.А.<sup>2</sup>, Червякова П.Д.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург  
solomanya@bk.ru*

При потере больших объемов кости восстановление костных дефектов естественным путем затруднено или вовсе невозможно, что приводит к использованию костной пластики с привлечением специализированных синтетических материалов, среди которых перспективным является поли-ε-капролактон (ПКЛ) благодаря его биосовместимости, способности к биодegradации и термопластичности. Однако гидрофобность, отсутствие достаточного количества реакционноспособных групп, недостаточная механическая прочность и плохая клеточная адгезия ограничивает биомедицинское применение ПКЛ в чистом виде.

Данная работа посвящена получению частиц окисленного графена (ОГ), модифицированного олигомерами глутаминовой кислоты (ОГлу), для устранения ряда недостатков ПКЛ, т.к. ОГ свойственны высокая механическая прочность и способность ускорять рост, дифференцировку и пролиферацию мезенхимальных стволовых клеток (МСК), а ОГлу может стимулировать биоминерализацию в зоне имплантации и препятствовать агрегации частиц ОГ. Модификацию осуществляли методами прививки «на поверхность» и «от поверхности» ОГ цепей ОГлу (ОГ-ОГлу), варьируя время и температуру реакции, а также используемый для проведения модификации аминокислотный линкер (этилендиамин или α-лизин). Подтверждение прохождения реакций и характеристика полученных частиц проводились с помощью ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа, динамического и электрофоретического рассеяния света. Посредством проведения полного кислотного гидролиза и последующего ВЭЖХ-анализа содержания в составе ОГ-ОГлу аминокислот была определена эффективность модификации ОГ, которая зависела от использованного линкера и метода прививки. В дополнение, были изготовлены композиционные полимерные пленки на основе ПКЛ с различным содержанием ОГ и ОГ-ОГлу (0.5 и 1.0 масс.%) и было показано, что использование в качестве наполнителя различных типов ОГ-ОГлу приводит к получению материалов с более однородной морфологией и росту их механических характеристик. Исследование биологических свойств полученных материалов продемонстрировало отсутствие клеточной токсичности, улучшение адгезии МСК и формирование кальцийсодержащих образований на поверхности изготовленных композитов. Таким образом, разработанные частицы демонстрируют пригодность для использования в качестве наполнителей для устранения недостатков алифатических полиэфиров, используемых в инженерии костных тканей.

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ НА МОРФОЛОГИЮ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Осипенко А.А., Гаркушина И.С.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
osipeno4kalexa@mail.ru*

Для оценки влияния условий синтеза на морфологию поверхностей гранульных полимерных сорбентов, предназначенных для извлечения холестерина (ХС), методом свободнорадикальной полимеризации 2-гидроксиэтилметакрилата и этиленгликоль диметакрилата (соотношение 86 мол.% и 14 мол.%, соответственно; общая концентрация – 30% по массе) с использованием иницирующей системы персульфат аммония – аскорбиновая кислота были получены сорбенты: КП-1 – эмульсионной полимеризацией в эмульсиях Пикеринга с использованием нанокмозитов селен-поли-*N*-винилпирролидон в качестве стабилизатора полимер-мономерных капель, и КП-2 – осадительной полимеризацией в *n*-пропиловом спирте. Модификация полимерных матриц сорбентов осуществлялась методом поверхностного импринтинга при введении ХС в количестве 6 мол.% (МИП-1-6, МИП-2-6), рассчитанных по отношению к массе мономеров, в качестве темплата в полимеризационную смесь на завершающей стадии формирования гранул. В результате происходила самоорганизация мономеров, еще не вступивших в реакцию полимеризации, вокруг темплата. Морфология синтезированных КП и МИПов была исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии (Рис. 1).

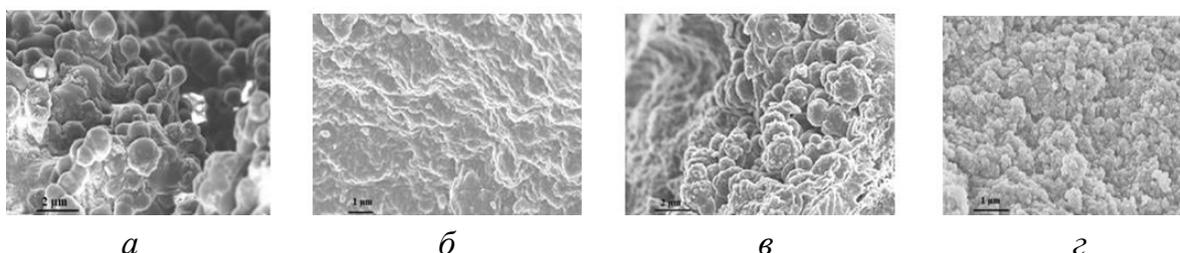


Рис. 1 – Микрофотографии КП-1 (а) и КП-2 (б); МИП-1-6 (в) и МИП-2-6 (г).

Как видно из микрофотографий, поверхность КП-1 состоит из микроглобул (Рис.1, а), а поверхность КП-2 является более гладкой и однородной (Рис.1, б). Это обусловлено формированием гранул КП-1 в результате сшивания микроглобул при проведении полимеризации в эмульсиях Пикеринга, в то время как образование гранул КП-2 осуществлялось только за счет диспергирования полимеризационной смеси при синтезе в растворителе. Гранулы МИП-1-6 и МИП-2-6 (Рис.1, в, г) имели более сегрегированные поверхности, по сравнению с полимерными гранулами КП-1 и КП-2 (Рис.1, а, б), что обусловлено формированием импринт-сайтов и коррелирует с литературными данными [1].

Таким образом, показано, что сегрегация поверхностей МИПов была обусловлена модификацией полимерных матриц посредством молекулярного импринтинга при введении ХС в полимеризационные смеси в количестве 6 мол.%.

### Список литературы:

[1] Gonzalez G. P., Hernando P. F., Alegria J.S.D. Anal. Chim. Acta. **557**, 179 (2006).

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИИМИДНЫХ ТКАНЕИНЖЕНЕРНЫХ СОСУДИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

Чирятьева А.Е.<sup>1</sup>, Завражных Н.А.<sup>1</sup>, Юкина Г.Ю.<sup>1,3</sup>, Кривенцов А.В.<sup>4</sup>,  
Иванькова Е.М.<sup>2</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет  
им. академика И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург

<sup>4</sup>Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург  
chirateva.ae@gmail.com

Сердечно-сосудистые патологии занимают ведущую позицию среди причин смерти в мире. Одним из основных методов лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы, помимо медикаментозной терапии и аутотрансплантации, является реконструкция сосудов с использованием протезов на основе полимеров. Среди главных проблем при пластике сосудов с использованием синтетических материалов остается раннее тромбообразование, гиперплазия неоинтимы в районе анастомозов и др. До настоящего времени не был разработан клинически приемлемый протез малого диаметра (6 мм и менее), ведется активный поиск новых полимерных материалов и разработка методов получения протезов [1]. В данной работе протезы кровеносных сосудов диаметром 1,2 мм были получены методом электроформования из водно-спиртового раствора триэтиламмонийной соли полиамидокислоты на основе пиромеллитового диангидрида и 4,4'-диаминодифенилового эфира с последующей термической имидизацией до нерезорбируемого полиимида при 250 °С [2]. Показано, что механические характеристики полученных протезов сравнимы с параметрами нативных сосудов крыс и человека. Протезы были имплантированы в брюшную часть аорты крыс на один, три и шесть месяцев. В ходе эксперимента не были выявлены аневризмы и гиперплазия интимы, протезы проходимы, случаи тромбоза не зафиксированы. Морфологическое исследование показало, что на внутренней поверхности протеза образуется неоинтима, представленная эндотелием и тонким субэндотелиальным слоем, а протез заключается в соединительнотканную капсулу. Протезы на основе полиимидного нетканого материала, полученные методом электроформования, продемонстрировали высокую тромборезистентность и биосовместимость, что позволяет продолжить их исследование в качестве тканеинженерных сосудистых имплантатов.

### Список литературы:

- [1] Awad N.K., Niu H., Ali U., Morsi Y.S., Lin T. Membranes (Basel). **8** (1), 15 (2018).  
[2] Светличный В.М., Ваганов Г.В., Мягкова Л.А., Бугров А.Н., Чирятьева А.Е., Власова Е.Н., Иванькова Е.М., Елоховский В.Ю., Попова Е.Н., Смирнова В.Е., Юдин В.Е. Журнал прикладной химии. **93** (1), 48 (2020).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-73-30003).

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МИКРОТРУБОК ХИТОЗАНА

Бабичева Т.С., Шиповская А.Б.

*Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов*

*tatyana.babicheva.1993@mail.ru*

Одной из актуальных задач физикохимии 3D-материалов медико-биологического назначения является получение и исследование свойств полых цилиндрических структур с ультратонкой стенкой (микроотрубок) из биорезорбируемых полимеров, в частности, хитозана. Такие объекты перспективны в качестве имплантатов кровеносных сосудов и предполагают кратковременное нахождение в живом организме. Однако, известные подходы к формированию таких структур многостадийны, предусматривают применение сложного оборудования, агрессивных растворяющих сред и жесткой крио- или термообработки.

В настоящей работе рассматриваются принципиально новые и экономически обоснованные подходы к получению микроотрубок на цилиндрическом темплате с использованием водных растворов гликоля хитозана и межфазных реакций ионно-индуцированного осаждения, формирования ПАВ–полиэлектролитного комплекса или высаливания в солевом градиенте. Проведена оценка влияния химической природы нейтрализующего реагента на морфологию поверхности, структуру, упруго-пластические и физико-механические свойства материала. Установлено, что микроотрубки демонстрируют упруго-деформационное поведение, характерное для вязкопластичных или вязкоупругих полимерных систем. Прочность и эластичность наилучших образцов микроотрубок соответствует аналогичным показателям коммерческих протезов, применяемых в настоящее время в кардиохирургической практике.

Обнаружено, что для всех образцов характерна периодическая слоистая структура, в наибольшей степени выраженная при использовании для получения материала реакции полимераналогичного превращения соль→основание хитозана. Показано, что процесс формирования такой структуры подчиняется кинетике ионно-обменных реакций и характерным для явления Лизеганга закономерностям [1]. В модельных опытах *in vitro* установлена нецитотоксичность, гемо- и биосовместимость микроотрубок, полученных в условиях реакции нейтрализации неорганическим или органическим основанием. В сорбционно-диффузионных экспериментах продемонстрирована возможность загрузки и пролонгированного высвобождения лекарственного вещества. Проведен анализ ферментативной деградации образцов и определен предположительный срок их эксплуатации в живом организме. Конечно-элементным моделированием проанализированы возможные напряженно-деформационные состояния в зоне контакта артериального сосуда с хитозансодержащим субстратом.

Полученные результаты показывают перспективы применения микроотрубок хитозана в качестве биорезорбируемых протезов для замены поврежденных участков кровеносных сосудов.

**Список литературы:**

[1] Babicheva T.S., Konduktorova A.A., Shmakov S.L., Shipovskaya A.B. J. Phys. Chem. Ser. B. **124** (41), 9255 (2020).

4-О-06

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КАРКАСОВ ИЗ ПОЛИ-(ДИМЕТАКРИЛАТА ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ) И ПОЛИЛАКТИДА ДЛЯ БИМЕДИЦИНЫ

Юдин В.В.<sup>1</sup>, Ковылин Р.С.<sup>1</sup>, Егизарян Т.А.<sup>1</sup>, Егорихина М.Н.<sup>2</sup>, Алейник Д.Я.<sup>2</sup>,  
Чесноков С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева  
Российской академии наук, г. Нижний Новгород

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Приволжский исследовательский медицинский университет  
Министерства здравоохранения, г. Нижний Новгород  
yudin@iomc.ras.ru

В настоящее время в медицине существует необходимость создания новых остеопластических материалов. Такие материалы должны иметь систему открытых взаимосвязанных пор, с оптимальной пористостью 60-80% для обеспечения циркуляции межклеточной жидкости, миграции, адгезии и функционирования клеток, а также васкуляризации. С другой стороны, профилактика и лечение инфекций, связанных с имплантацией, играют важную роль в современной высокотехнологичной хирургии. Одним из способов обеспечения антибактериальной активности является введение антибиотиков в имплантат.

В данной работе, для создания пористой матрицы имплантата использовалась полимеризующая под действием видимого света композиция на основе диметакрилата этиленгликоля (ДМЭГ) с добавкой 70 мас. % порообразующего агента - 1-бутанол, 1-гексанол, 1-октанол или циклогексанол. Из этих композиций были получены пористые полимерные монолиты поли-ДМЭГ с системой открытых взаимосвязанных пор с пористостью 75-78%. Средний размер пор полимерного материала зависит от природы порообразующего агента и варьируется от 0.5 мкм (циклогексанол) до 12 мкм (1-бутанол).

Для создания более подходящего для медицинского использования скаффолда можно модифицировать поверхность пор полилактидом (PLA), который является биосовместимым полимером, способным нести в себе антибиотик. Кроме того, биодеградация слоя PLA, нанесенного на поверхность пор поли-ДМЭГ, должна обеспечивать пролонгированное высвобождение антибиотика. В ходе работ установлено, что поверхность пор матриц поли-ДМЭГ, покрытая поли-D,L-лактидом ( $M_n 23 \times 10^3$  Да, PDI 1.31), сохраняет пористую структуру, аналогичную исходной поли-ДМЭГ, но с улучшенными прочностными характеристиками. Содержащий антибиотик слой PLA обеспечивает высокую и непрерывную антибактериальную активность материала в течение 7 дней. Цитологические исследования показали отсутствие цитотоксичности всех исследованных пористых матриц.

### Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитический центр ИМХ РАН» при поддержке гранта "Обеспечение развития материально-технической инфраструктуры центров коллективного пользования научным оборудованием" (Уникальный идентификатор RF----2296.61321X0017, Номер Соглашения 075-15-2021-670).

## СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРА ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ- $\epsilon$ -ПОЛИЛИЗИНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Хаптаханова П.А.<sup>1,2</sup>, Успенский С.А.<sup>1,2</sup>, Александров А.И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*АНО Международный научно-исследовательский центр инновационных  
технологий МАРТИНЕКС, г. Москва*

Системы доставки лекарств на основе полимерных материалов играют значительную роль в улучшении фармакологических и терапевтических свойств лекарственных веществ путем контроля их фармакокинетики, биораспределения, токсичности. Среди широкого спектра биосовместимых и биоразлагаемых полимеров, используемых для разработки систем доставки лекарств, биополиэфиры и полиаминокислоты являются перспективными кандидатами для капсулирования гидрофобных препаратов. В работе представлен синтез привитого сополимера полимолочная кислота- $\epsilon$ -полилизин с применением импульсных механохимических воздействий [1], реализованных в условиях тип 1 – реологического взрыва и тип 2 – реакционного смешения на вибрационной мельнице, при варьировании исходного соотношения гомополимеров. Охарактеризованы структура и свойства полученного сополимера методами ИК-спектроскопии, <sup>1</sup>H ЯМР, динамического светорассеяния. Оценены выходы сополимера в зависимости от типа воздействия. Исследовано влияние наполнителя в виде наночастиц элементного бора [2, 3], на свойства и выход сополимера полимолочной кислоты- $\epsilon$ -полилизина.

### Список литературы:

- [1] Ениколопян Н.С., Александров А.И., Гаспарян Э.Э., Шелобков В.И., Мхитарян А.А. Доклады Академии Наук СССР. **319**, 1384 (1991).
- [2] Успенский С.А., Хаптаханова П. А., Заборонок А. А., Куркин Т. С., Волкова О. Ю., Мечетина Л. В., Таранин А. Н., Каныгин В. В., Мацумура А., Таскаев С. Ю. Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. **491**, 20 (2020).
- [3] Zaboronok A., Khaptakhanova P., Uspenskii S., Bekarevich R., Mechetina L., Volkova O., Mathis B.J., Kanygin V., Ishikawa E., Kasatova A., Kasatov D., Shchudlo I., Sycheva T., Taskaev S., Matsumura A. *Pharmaceutics*. **14**, 761 (2022).

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90283.

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА С АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Малафеев К.В.<sup>1,2</sup>, Москалюк О.А.<sup>3</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>, Завражных Н.А.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>2</sup>, Гордина Е.М.<sup>4</sup>, Божкова С.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Институт Высокмолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup>*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия*

<sup>4</sup>*Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия*  
*kostya\_malafeev@mail.ru*

В настоящее время установлено, что имплантированный, в том числе и шовный, материал крайне быстро колонизируется патогенной микрофлорой, т.к. все бактерии и многоклеточные грибы при размножении образуют сообщества, защищенные биопленками – внеклеточными мембранами, которые защищают их от окружающей среды. Одним из решений данной ситуации является воздействие антимикробными соединениями на микроорганизмы в биопленке изнутри — с поверхности имплантата [1].

Одним из самых распространенных материалов для создания медицинских изделий является полилактид (ПЛА). Из ПЛА производят хирургические шовные нити, раневые покрытия, ортопедические винты и пр. [2]. Все представленные изделия могут быть колонизированы патогенной микрофлорой, поэтому основной задачей этой работы было создание композитов на основе полилактида с добавлением наночастиц серебра, стабилизированных поливинилпирролидоном (Повиаргол) с биологически активной поверхностью.

В работе были исследованы различные способы получения композитов: формование из расплава моно- и мультифиламентных нитей, а также получение нетканых материалов с помощью электроспиннинга. Поверхность образцов была исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии, а с помощью тестов *in vitro* были исследованы антибактериальная и антибиоплёночная активности.

### Список литературы:

[1] *Besinis A. et al. Nanotoxicology* **11** (3), 327, (2017)

[2] *Bergström J. S., Nayman D Ann. of biomed. eng.* **44** (2), 330, (2016)

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№19-73-30003)*

**4-О-09**  
**ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПЛЕКСОВ**  
**ЕВРОПИЯ И ТЕРБИЯ С СОПОЛИМЕРАМИ**  
**4-МЕТАКРИЛОИЛАМИДОБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТЫ**

Шуваева О.Д.<sup>1,2</sup>, Нестерова Н.А.<sup>1</sup>, Некрасова Т.Н.<sup>1</sup>, Фишер А.И.<sup>1,2</sup>, Панарин Е.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет), г. Санкт-Петербург  
lekashuv@gmail.com*

Люминесцентные методы исследования с использованием в качестве метки координационных соединений редкоземельных металлов широко используются в различных областях биологии и медицины, и сфера их применения постоянно расширяется. Интенсивная люминесценция ионов лантаноидов  $\text{Ln}^{3+}$  в комплексах с производными ароматических карбоксилатов (аминобензоатов, аминосалицилатов и др.). вызвала интерес исследователей к синтезу макромолекулярных лигандов (МКЛ), содержащих звенья ароматических карбоновых кислот в качестве хелатирующих групп. Применение МКЛ в биологии и медицине стимулирует исследование их фотофизических свойств в водных растворах.

В данной работе изучена люминесценция ионов  $\text{Eu}^{3+}$  и  $\text{Tb}^{3+}$  в разбавленных водных растворах сополимеров 4-метакрилоиламидобензойной кислоты (МАБК) с N-винилпирролидоном, N-метил-N-винилацетамидом, стиролсульфоновой кислотой. Сополимеры были синтезированы методом свободно-радикальной полимеризации. Исследуемые сополимеры биосовместимы, хорошо растворимы в воде в нейтральных и щелочных средах.

Все исследованные сополимеры образуют интенсивно люминесцирующие комплексы с ионами  $\text{Eu}^{3+}$  и  $\text{Tb}^{3+}$  в разбавленных растворах ( $c_{\text{пол}} \leq 0.003$  масс.%). Концентрацию ионов лантаноидов варьировали в интервале  $(1-15) \cdot 10^{-5}$  М. При содержании звеньев МАБК  $\approx 10$  мол.% ионы лантаноидов координируют 3 карбоксилат-аниона, в то время как при содержании МАБК  $\approx 30$  мол.% вследствие более высокой локальной плотности этих звеньев и стерических ограничений не удается достичь полноты связывания ионом лантаноида  $\text{COO}^-$  групп. Это приводит к образованию координационно-ненасыщенных комплексов состава  $\text{Ln}(\text{R}-\text{COO})_2$ . За счет больших значений координационных чисел ионов  $\text{Ln}^{3+}$  в комплексах (8–9) внутренняя координационная сфера комплекса включает молекулы воды, являющиеся сильными тушителями люминесценции («ОН-осцилляторы»).

Синтезированные полимерные комплексы  $\text{Tb}^{3+}$  и  $\text{Eu}^{3+}$  перспективны как люминесцирующие зонды для биовизуализации взаимодействий лекарственных (со)полимеров с биообъектами.

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки № 075-15-2020-794.*

## ФОРМОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ЧАСТИЦ СО СТРУКТУРОЙ ЯДРО/ОБОЛОЧКА НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ БИМЕДИЦИНЫ

Шерстнева А.А.<sup>1</sup>, Северин А.В.<sup>2</sup>, Демина Т.С.<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>3</sup>*Институт регенеративной медицины, ПМГМУ им. И.М. Сеченова Министерства  
здравоохранения России (Сеченовский Университет), г. Москва  
sherstneva2912@mail.ru*

Биодеградируемые полимеры, одобренные для парентерального применения (такие как полилактид (ПЛА)), обладают важными структурно-механическими и биосовместимыми свойствами, что делает возможным изготовление на их основе средств доставки активных соединений и клеток в организме человека [1]. Формование гибридных микрочастиц (МЧ) с дополнительными компонентами позволяет обогатить МЧ необходимыми свойствами. Так, например, наночастицы гидроксиапатита (нГА) могут способствовать повышению биосовместимости МЧ и пролиферативной активности регенерируемых тканей.

МЧ на основе ПЛА и нГА были получены методом испарения растворителя из эмульсии масло/вода, в которой дисперсная фаза представлена раствором ПЛА в смеси  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ /ацетон, а дисперсионная среда – 1%-ной дисперсией нГА в дистиллированной воде [2]. Исследовано влияние характеристик нГА коммерческого и лабораторного происхождения на выход и структуру гибридных микрочастиц. В качестве альтернативных методик были также исследованы подходы к формированию нГА *in situ* одновременно с изготовлением МЧ и минерализация готовых МЧ.

Размер и распределение нГА по размерам были исследованы методом динамического светорассеяния. Исследовано влияние характеристик нГА на эффективность стабилизации границы раздела фаз масло/вода в эмульсиях и кинетику формирования микрочастиц. Оценены размеры полученных микрочастиц, их распределение по размерам, морфология и химическая структура поверхности.

### Список литературы:

[1] Sherstneva A.A., Demina T.S., Monteiro A.P.F., Akopova T.A., Grandfils C., Ilangala A.B. *Polymers*. **14**, 1314 (2022).

[2] Chernenok T.V., Kilyashova L.A., Israilova N.N., Popyrina T.N., Demina T.S. *Nanobiotechnology Reports*. **16** (4), 505 (2021).

### Благодарности

*Авторы выражают благодарность Prof. Nenad L. Ignjatović (Institute of Technical Sciences of the Serbian Academy of Sciences and Arts) за один из образцов нГА.*

#### 4-О-11

### ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЦИТОСТАТИКОВ

Багаева И.О.<sup>1</sup>, Гандаллипов Э.Р.<sup>2</sup>, Синицына Е.С.<sup>1,3</sup>, Тенникова Т.Б.<sup>1</sup>,  
Коржикова-Влах Е.Г.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>НИУ ИТМО, Международный научный центр растворной химии передовых материалов и технологий, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
Bagaeva\_irina2000@rambler.ru

В настоящее время системы доставки лекарств на основе полимерных наночастиц активно используются для терапии многих заболеваний, и в особенности онкологических. Как правило, химиотерапия цитостатическими препаратами проводится посредством внутривенного введения. Основным недостатком такого подхода является высокая системная токсичность лекарства и его низкая биодоступность. Разработка новых лекарственных форм для реализации локальной химиотерапии, позволит снизить количество вводимого цитостатика и при этом обеспечить необходимую терапевтическую дозировку.

Целью данной работы являлась разработка систем доставки цитостатического вещества «Диоксадэт» (5-{[4,6-Бис(1-азиридирил)-1,3,5-тиазин-2-ил]амино}-2,2-диметил-1,3-диоксан-5-метанол) для интраперитонеальной химиотерапии рака яичников. Лекарство инкапсулировали в наночастицы на основе сложных алифатических полиэфиров. Предлагаемые наночастицы должны обеспечивать дозированное и контролируемое высвобождение цитостатика.

Наночастицы на основе амфифильных блок-сополимеров поли-(ε-капролактона) с полиэтиленгликолем (ПЭГ-б-ПКЛ) и поли(D,L-молочной кислоты) с полиэтиленгликолем (ПЭГ-б-ПМК) были получены методом наноосаждения. В системе варьировали количество загружаемого лекарства, рН водной фазы на стадии получения частиц, молекулярные массы и концентрации полимерных носителей в системе и анализировали размер, дзета-потенциал, эффективности инкапсулирования и степени загрузки лекарственного вещества. Для сравнения проанализированы системы на основе гомополимеров поли(D,L-молочной кислоты) и поли-(ε-капролактона). Также была изучена скорость высвобождения диоксадэта из полимерных частиц в течение 30 дней. Показано, что гидрофильный блок ПЭГ значительно стабилизирует суспензию наночастиц.

Исследование жизнеспособности клеток проводилось на 2-х клеточных линиях рака яичников человека (A2780 и SK-OV-3) и контрольной линии – клеток яичников китайских хомячков (СНО-K1) посредством колориметрического теста для оценки метаболической активности клеток (МТТ-тест) и проточной цитометрии. Рассчитанные значения IC50 позволяют судить о высокой эффективности полученных инкапсулированных систем.

#### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №21-73-20104) и с использованием Научного парка СПбГУ.*

## 4-О-12

# МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Чабина А.С.<sup>1</sup>, Нащекин А.В.<sup>2</sup>, Лихачев А.И.<sup>2</sup>, Курдюков Д.А.<sup>2</sup>, Просалов Н.Д.<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-alina@yandex.ru*

Полиэфиры уже давно нашли свое применение в тканевой инженерии, однако существуют ограничения их использования ввиду гидрофобности полимеров, а также отсутствия поверхностного заряда и сайтов связывания для клеток. Поэтому были разработаны различные модификации полиэфиров для их адаптации под конкретные задачи тканевой инженерии [1, 2].

Одной из возможных модификаций является введение активных функциональных групп путем физического смешивания полимера с модифицирующим агентом. Перспективным способом считается создание композитных матриц на основе смеси полиэфиров с полиэтиленгликолем (ПЭГ) или полиэтиленгликольдиамином (ПЭГ-2NH<sub>2</sub>), так как они позволяют придать гидрофильность поверхности и получить матрицы с различной топологией после растворения фазы ПЭГ и ПЭГ-2NH<sub>2</sub> [1]. Таким образом, целью нашей работы является модификация полиэфиров для различных задач тканевой инженерии за счет формирования композитных матриц.

Композитные матрицы получали из смеси двух полимеров в следующем массовом соотношении – 70 % полиэфира (поли-1,1-лакдид (ПЛЛА), поли-d,l-лакдид (ПДЛА) и поли-ε-капролактон (ПКЛ)) и 30 % ПЭГ или ПЭГ-2NH<sub>2</sub>. Для растворения фазы ПЭГ матрицы инкубировали в воде в течение суток.

Спектрофотометрическим методом было выявлено, что фаза ПЭГ-2NH<sub>2</sub> вымывается только на 50-60%, а при выходе ПЭГ происходит частичное вымывание основного полимера. При изучении топологии поверхности с помощью сканирующей электронной и конфокальной микроскопий было обнаружено, что после растворения фазы ПЭГ и ПЭГ-2NH<sub>2</sub> на полиэфирах образуются лунки или поры разного диаметра. С помощью метода сидячей капли было доказано увеличение гидрофильности матриц.

Адгезию и пролиферацию мезенхимальных стромальных клеток (МСК) оценивали после культивирования их на матрицах в течение 2 часов, 4 часов, 1 суток и 3 суток. Было выявлено, что по сравнению с немодифицированными матрицами адгезия и пролиферация МСК увеличилась, особенно для матриц с ПЭГ-2NH<sub>2</sub>.

Таким образом, модификация полиэфиров за счет создания композитных матриц улучшает их характеристики для решения различных задач тканевой инженерии.

### **Список литературы:**

[1] *Nashchekina Y., Samusenko I., Zorin I., Kukhareva L., Bilibin A., Blinova M. Biomedical Materials. 14 (6), 65005 (2019).*

[2] *Sun W., Liu W., Wu Z., Chen H. Macromolecular Rapid Communications. 41 (8), 1900430 (2020).*

## ДВОЙНЫЕ СЕТКИ, ОБРАЗОВАННЫЕ ГИБКИМ ПРИРОДНЫМ ПОЛИМЕРОМ И САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТКОЙ АНИЗОТРОПНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Оспенников А.С., Шибаетов А.В., Филиппова О.Е.

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
ospennikov@polly.phys.msu.ru*

В настоящее время одним из наиболее перспективных полимерных материалов являются гидрогели, построенные на основе двойных полимерных сеток. Такие гидрогели обладают выдающимися механическими характеристиками, на несколько порядков превосходящими свойства “традиционных” полимерных гелей, содержащих одну сшитую полимерную сетку. Известно, что гидрогели на основе одной сетки во многих случаях обладают ограниченными механическими свойствами. Их предел прочности на разрыв составляет порядка 10–100 кПа, а энергия разрыва порядка 10–100 Дж/м<sup>2</sup>. Двойные сетки представляют собой две взаимопроникающие полимерные сетки с сильно отличающимися свойствами: первая сетка обычно образована сильно сшитым и жестким полиэлектролитом, а вторая – слабо сшитым и гибким незаряженным полимером. При механической деформации происходит разрыв связей в первой сетке и ее разрушение, сопровождающиеся значительной диссипацией энергии в достаточно большом объеме, что препятствует распространению разрыва и разрушению всего геля. Таким образом, разрыв связей в первой сетке позволяет сохранить целостность второй сетки и всего материала в целом. При этом вторая слабо сшитая сетка упруго деформируется и поддерживает эластичность геля. В работе в качестве мягкой сетки будет выступать сетка гидроксипропилгуара (ГПГ), а в качестве второй сетки жесткой, разрывающейся и рекомбинирующейся будет выступать нанокристаллы целлюлозы. Целлюлоза благодаря своим привлекательным характеристикам используется в качестве армирующих агентов для широкого спектра применения в нанокompозитах, микрочипах, тканевой инженерии. В гидрогелях технология армирования играет ключевую роль. Целлюлоза способна взаимодействовать с водорастворимыми полимерами, образуя дополнительные сшивки между ними упрочняя полимерную сетку. Таким образом, смешивание нанокристаллов целлюлозы с гидрогелями может увеличить модуль упругости и предел прочности. Как требуется при печати методом экструзии, биочернила должны проявлять уменьшение вязкости при сдвиге, которое присуще растворам нанокристаллов целлюлозы. В ходе исследования показано, что при сшивании нанокристаллов целлюлозы ионами кальция, кальций образует «лабильные» динамические сшивки. Удалось получить сетку сшитого гидроксипропил гуара метакрилизованного (ГПГ-МА), внутри которой находится сетка из сшитых нанокристаллов или нанофибрилл целлюлозы, что приводит к упрочнению сшитых гелей – увеличению модуля упругости, напряжения и деформации при разрыве. Был напечатан на 3D принтере объект с использованием этих чернил.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-10197).*

**4-О-14**  
**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ С ДЕЙСТВУЮЩИМ**  
**ВЕЩЕСТВОМ ЦИНКА В КАЧЕСТВЕ ПОЛИМЕРОВ**  
**МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Шуклина Н.Н., Рябов С.А., Гущин А.В., Власова Е.А.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Химический факультет, г. Нижний Новгород.  
natashashyklina97@gmail.com*

Придание полимерным материалам заданных эксплуатационных свойств с помощью наполнителей, в частности антимикробных, на сегодняшний день самый популярный способ получения полимерных композиционных материалов. Ранее авторами был разработан композиционный полимерный материал - антимикробная биоразлагаемая пленка на основе цинк пиритиона для увеличения сроков сохранения свежести продуктов питания в 2 и более раз. Ускоренными лабораторными испытаниями был установлен приблизительный срок биоразлагаемости материала - около 2 лет до укрупненных фрагментов в почвенном грунте. Данный плёночный материал был разработан при получении гранта Фонда Содействия инновациям. Полученный материал бифункционален, но что, если у материала оставить только антимикробные свойства, и даже усилить их – какие перспективы применения ещё есть у материала? Разумеется, медицина. Авторами была модифицирована добавка антимикробного агента цинк пиритиона. Поменяв лигандное окружение на другие группы органических кислот были получены хелатные комплексы органических кислот, соли цинка - Zn1A, Zn1B, Zn2A. Проведены испытания на антимикробную активность полученных соединений в виде сухого вещества и составной функциональной добавки в плёночных материалах (полиэтилена). Испытания были проведены аккредитованной лабораторией Государственного бюджетного учреждения Нижегородской области «Областной ветеринарной лабораторией» и лабораторными методами с помощью тест-пластин Petrifilm™ для подсчета количества колоний на питательных средах. Один из примеров полученных результатов приведен в таблице ниже.

Таблица 1. Результаты испытаний биоцидных добавок на хранение куриного фарша на 3 суток хранения.

Вид образца	Фарш куриный, контроль	Фарш куриный, образец Zn1A	Фарш куриный, образец Zn1B	Фарш куриный, образец Zn2A
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1,5 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$

\*Норматив при хранении фарша не более  $1,5 \cdot 10^6$

По результатам испытаний, биоцид Zn2A обладает большей антимикробной активностью и способен подавлять рост и развитие патогенной микрофлоры с разницей количества колоний по сравнению с контрольным образцом в 5 раз.

Установлено, что полученные материалы обладают высокой антимикробной активностью. Композиционные антимикробные полимерные материалы рекомендованы авторами для проведения дальнейших исследований в качестве полимеров для медицины.

#### 4-О-15

### ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ОБОЛОЧЕК КОНТЕЙНЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА И МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Трушина Д.Б.<sup>1,2</sup>, Бурмистров И.А.<sup>1</sup>, Михеев А.В.<sup>1</sup>, Паллаева Т.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, г. Москва

<sup>2</sup>ПМГМУ им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения России

(Сеченовский университет), г. Москва

trushina.d@mail.ru

Контейнеры на основе полиэлектролитных комплексов рассматриваются в качестве перспективной системы для контролируемой доставки и высвобождения терапевтических молекул благодаря широкому выбору материалов оболочек. Модификация оболочек полиэлектролитных микрокапсул магнитными наночастицами может позволить управлять локализацией контейнеров и контролируемым образом высвобождать инкапсулированные вещества с помощью воздействия низкочастотным переменным магнитным полем (НЧМП). Исследуемый эффект заключается в магнитомеханической актуации наночастиц во внешнем НЧМП, в результате которой наночастицы в полиэлектролитных оболочках могут совершать колебательно-вращательные движения.

Параметры предварительно синтезированных наночастиц оксидов железа охарактеризованы с помощью динамического и электрофоретического светорассеяния, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, магнитометрии, порошковой рентгеновской дифракции и Мёссбауэровской спектроскопии, что позволило сделать вывод о возможности их использования для реализации магнитомеханической актуации. Проанализировано влияние частоты магнитного поля в диапазоне 20-150 Гц и длительности его воздействия (5-40 мин) на проницаемость оболочек микрокапсул, состоящих из комплекса полистиролсульфонат натрия/полиаллиламин гидрохлорид и синтезированных наночастиц оксидов железа, для высокомолекулярного декстрана и низкомолекулярного доксорубицина. Найдены оптимальные условия, при которых достигается контроль за высвобождением инкапсулированных молекул в непрерывном и импульсном режимах НЧМП [1,2]. Установлено влияние НЧМП на структуру многослойных оболочек.

#### Список литературы:

[1] *Burmistrov I.A., Veselov M.M., Mikheev A.V., Borodina T.N., Bukreeva T.V., Chuev M.A., Starchikov S.S., Lyubutin I.S., Artemov V.V., Khmelenin D.N., Klyachko N.L., Trushina D.B. Pharmaceutics. 14 (1), 65 (2021).*

[2] *Михеев А.В., Бурмистров И.А., Зайцев В.Б., Артемов В.В., Хмеленин Д.Н., Старчиков С.С., Веселов М.М., Клячко Н.Л., Букреева Т.В., Трушина Д.Б. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 1, 10 (2022).*

#### Благодарности

Исследование проведено при поддержке Совета по грантам Президента РФ (грант № МК-1109.2021.1.3).

## ПОЛУЧЕНИЕ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОЛЛАГЕНА И ХИТОЗАНА, СШИТЫХ ДЖЕНИПИНОМ ДЛЯ РАНОЗАЖИВЛЕНИЯ

Шагдарова Б.Ц.<sup>1</sup>, Коновалова М.В.<sup>2</sup>, Луньков А.П.<sup>1</sup>, Жуйкова Ю.В.<sup>1</sup>, Ильина А.В.<sup>1</sup>, Варламов В.П.<sup>1</sup>, Свирцевская Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт биоинженерии, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Москва*

<sup>2</sup>*Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, г. Москва  
shagdarova.bal@gmail.com*

Известно, что для лечения ран используют различные материалы, в том числе биополимеры. Среди них хитозан является привлекательным благодаря биоразлагаемости, биосовместимости, мукоадгезивности, низкой токсичности и ряду других биологических активностей. Коллаген - фибриллярный белок, являющийся компонентом дермы и стимулирующий неоангиогенез. Дженипин - низкотоксичный сшивающий агент, обеспечивающий хороший уровень сшивания и повышающий модуль упругости материалов. Целью работы было получение гидрогелей на основе хитозана и коллагена, с включенными в их структуру наночастицами серебра (AgNPs), изучение свойств гелей и их способности к ранозаживлению.

В ходе работы были получены гидрогели на основе хитозана и коллагена, сшитые дженипином, с введенными наночастицами серебра (получены с использованием производного хитозана). Исследовали цитотоксичность, набухание, реологические свойства и продольные срезы гидрогелей. Изучена цитотоксичность гелей, при сшивке 0,3% и 0,03% растворами дженипина на эндотелиальных клетках человека EAhy 926. Гели, сшитые 0,03% раствором, были нетоксичными или умеренно токсичными. Реологическое поведение гелей изучено с помощью ротационной реометрии. Для образцов гелей до и после добавления дженипина наблюдалось увеличение модуля накопления  $G'$  для всех образцов гелей более чем в 2 раза после сшивания, что свидетельствует об улучшении упругих свойств при сшивании дженипином. При исследовании морфологии продольных срезов гелей методом сканирующей электронной микроскопии определено, что после сшивания гелей наблюдалась волокнистая полосчатая структура и крупные поры, что является благоприятным фактором для взаимодействия с клетками. При изучении заживления ран было установлено, что мыши, обработанные гелями, сшитые дженипином, с AgNPs и без них, а также только AgNPs, показали сравнимый заживляющий эффект по сравнению с необработанными ранами. Все гели в процессе ранозаживления увеличивали отложение коллагена, восстановление волосяных фолликулов и образование сальных желез.

### **Благодарности**

*Авторы выражают благодарность Ракитову Р.А. и Жегалло Е.А. (Палеонтологический Институт РАН, Москва) за помощь в проведении СЭМ и Хайдаповой Д.Д. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) за помощь при изучении реологических свойств на модульном реометре МКР-302.*

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗ ОСИНЫ *PÓPULUS TRÉMULA*, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ

Боровкова В.С.<sup>1</sup>, Маляр Ю.Н.<sup>1</sup>, Судакова И.Г.<sup>1</sup>, Чудина А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии и химической технологии ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск  
bing0015@mail.ru*

Гемицеллюлозы (ГЦ) являются вторыми по распространенности возобновляемыми природными полимерами с разветвленным нерегулярным строением. Благодаря своей структуре, короткому циклу регенерации, биоразлагаемости и экологичности ГЦ являются перспективными биополимерами для использования в различных видах производства, фармакологии, пищевой промышленности и других [1]. В данной работе древесные ГЦ осины *Pópulus trémula* были получены методом окислительной делигнификации в среде «уксусная кислота-вода-перекись водорода». Исследование антиоксидантной активности (АОА) проводили с помощью соединений, моделирующих свободные (2,2-дифенил-2-пикрилгидразил (ДФПГ)) и гидроксильные (сульфат железа II) радикалы для определения их перспективных характеристик с точки зрения будущего применения, в том числе и в биомедицинских направлениях. В результате варьирования параметров процесса окислительной делигнификации наибольший выход ГЦ составил – 9.7 мас. %, достигнутый при температуре и продолжительности процесса – 100 °С и 4 часа. Согласно данным гель-проникающей хроматографии данный образец характеризуется в большей степени мономодальным молекулярно-массовым распределением с полидисперсностью – 2.05. Методами ИК- и 2D-ЯМР-спектроскопии установлено, что ГЦ осины состоят в основном из  $\beta$ -(1→4)-D-ксилопиранозы со звеньями галактозы, маннозы и арабинозы в боковых цепях и не содержат фрагментов остаточного лигнина.

Результаты исследования показали, что антиоксидантная активность ГЦ по нейтрализации ДФПГ и гидроксил радикалов достигает до 85.6 % и 78.7 %, соответственно, при значении концентрации 5 мг/мл. Установлено, что ГЦ с низкой молекулярной массой обладают повышенной АОА благодаря нескольким факторам: частичной деполимеризации, лучшей растворимости и повышенному содержанию уроновых кислот. Образцы ГЦ, полученные в более мягких условиях и содержащие фенольные компоненты проявляют повышенную способность к нейтрализации гидроксильных радикалов, однако, с точки зрения чистоты основного продукта, они уступают образцам, которые не содержат фрагменты остаточного лигнина.

### Список литературы:

[1] Gallina G., Cabeza Á., Grénman H., Biasi P., García-Serna J., Salmi T. The Journal of Supercritical Fluids. **133** (2), 716 (2018).

### Благодарности

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-10212, <https://rscf.ru/project/22-73-10212/>. В работе использовано оборудование Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.*

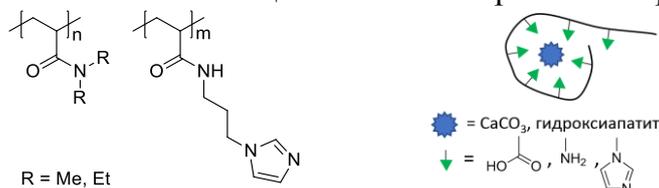
## ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ И НАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Стрелова М.С.<sup>1</sup>, Пальшин В.А.<sup>1</sup>, Савин А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический Институт СО РАН, г. Иркутск

<sup>2</sup>Институт SCAMT, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург  
mariya.strelova.96@mail.ru

Биотехнологии и фундаментальные исследования с использованием клеточных культур, регенеративная медицина и протезирование нуждаются в материалах, поверхность которых способна к контролируемой адгезии живых клеток. Учитывая отрицательный заряд клеточных мембран, желателен наличие у поверхности слабого положительного заряда, достаточного для связывания клеток, но не разрушающего мембрану. Неоднородности поверхности микронного и субмикронного уровня благоприятны для адгезии клеток. Управление связыванием клеток возможно при использовании полимерных покрытий, содержащих ионогенные группы, способные изменять свой заряд при малых изменениях pH, а также термолабильные фрагменты, существенно изменяющие конформацию полимера при малых изменениях температуры в физиологической области. В данной работе синтезированы азолсодержащие сополимеры, содержащие гидрофобные группы и стабилизированные функциональными полимерами композитные наночастицы на основе карбоната и фосфата кальция:



Сополимеры получали реакцией полиакрилоил хлорида с соответствующими аминами, структуру подтверждали с помощью ИК и ЯМР спектроскопии. Композитные наночастицы получены при образовании карбоната или фосфата кальция в присутствии карбоксилсодержащих полимеров. При действии полимерных оснований на дисперсии композитных наночастиц получены твердые продукты, в том числе в виде плёночных покрытий с нанорельефной поверхностью. Покрытия изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии, оценена их стабильность в условиях культивирования клеток. Способность покрытий к связыванию отрицательно заряженных объектов изучена с использованием флуоресцентно меченных полимеров акриловой кислоты в зависимости от pH и температуры. Проведено культивирование иммортализованных фибробластов на новых покрытиях, определены условия для роста клеток на поверхности и оценено влияние изменения условий (pH, температура) на адгезию клеток.

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-24-00474). При работе использовано оборудование ЦКП "Ультрамикроанализ" ЛИН СО РАН.

## ВЛИЯНИЕ ШИРОКОДОСТУПНЫХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

Леднева П.А.<sup>1</sup>, Беркович А.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,  
*ledneva.polia@gmail.com*

Биоразлагаемые полимеры являются перспективными материалами, которые сочетают в себе хорошие технологические свойства и относительно слабое воздействие на окружающую среду. Растущий интерес к этим материалам создает потребность в адаптации методов производства и формования к специфике биоразлагаемых полимеров. Работа посвящена изучению закономерностей изменения термодинамических свойств и технологических свойств композиций на основе полилактида с добавлением широкодоступных биоразлагаемых добавок, в том числе используемых в сельскохозяйственной промышленности.

Целью работы является анализ возможности использования традиционных компонентов сельскохозяйственных удобрений для модификации свойств полилактидных материалов. Влияние таких добавок на механические свойства. В рамках работы проводилось изучение закономерностей их обработки при компаундировании методом экструзии, а также их способности к формованию стабильных пленок.

Предметом исследования являются высоконаполненные смеси на полилактида с различным содержанием крахмала и мочевины.

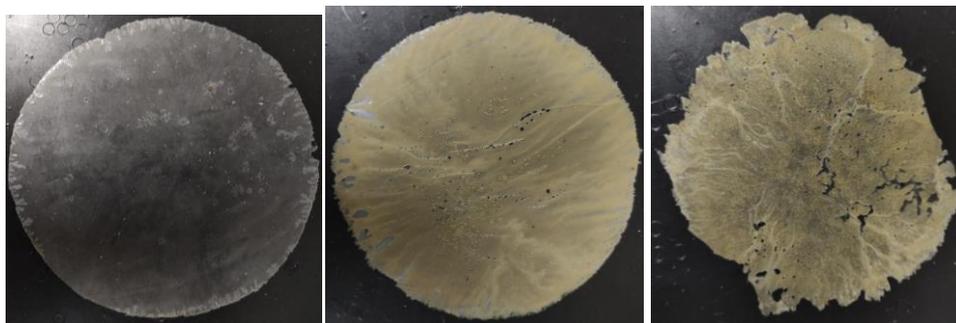


Рис. 1 - Пленки получаемые из композиций с различным содержанием мочевины и крахмала.

### Список литературы:

- [1] Meihong Y. Meihong Y., Yongjie Z. and Jingzhi T. The Royal Society of Chemistry. **10** (2020).
- [2] Xiaosong Xia. The Royal Society of Chemistry. **47** (2020).

## МОЛЕКУЛЯРНЫЙ МЕХАНИЗМ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОТОНИРОВАННЫХ ДИАЛЛИЛАММОНИЕВЫХ ПОЛИМЕРОВ НА МИКОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КЛЕТКИ

Еременко И.В.<sup>1</sup>, Бондаренко Г.Н.<sup>1</sup>, Симонова Ю.А.<sup>1</sup>, Тимофеева Л.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН, г. Москва  
iveremenko@ips.ac.ru

Исследован молекулярный механизм антимикробного действия протонированных диаллиламмониевых полимеров (на примере полидиаллиламмоний трифторацетата – ПДААТФА) [1] в сравнении с кватернизованным ПДАДМАХ относительно микобактериальных клеток *M. smegmatis*, ближайшего по строения клеточной стенки непатогенного родственника *M. tuberculosis*. Впервые показано (используя метод ИК-Фурье спектроскопии и соединение фенил-бэта-D-глюкуронид, моделирующее молекулы фенольных гликолипидов (ФГЛ) на внешнем слое клеточной стенки *M. smegmatis* и *M. tuberculosis*) прямое взаимодействие полимеров с молекулами внешней стенки микобактерий. При взаимодействии ПДААТФА с ФГЛ образуется интермолекулярный нековалентный водородно-связанный комплекс между аммониевыми группами полимера и молекулами ФГЛ. В этом случае эфирная группа Ph-O<sup>δ-</sup>-C, включая фенильное кольцо, практически утрачивает колебательные характеристики индивидуального соединения, становясь частью комплекса. Вследствие этого молекулы ФГЛ теряют функцию внешнего слоя микобактериальной мембраны, что приводит к разрушению внешней мембраны. На основании результатов исследований трансмембранного потенциала (ТП) клеток, барьера проницаемости клеток *M. smegmatis*, и данным ТЭМ, образование комплекса ПДААТФА-ФГЛ ведет к дальнейшему нарушению проницаемости внутренней мембраны и гибели клеток [2]. В отличие от ПДААТФА, действие более гидрофобного ПДАДМАХ не приводит к разрушению внешней мембраны, но к постепенному подавлению ТМ и гибели клеток из-за ингибирования общих биоэнергетических процессов в течение длительного времени обработки [2]. Мы полагаем, что, вследствие идентичности структурной организации клеточной стенки и химических процессов в ней, выводы, сделанные для модельного организма *M. smegmatis*, справедливы для патогенной бактерии *M. tuberculosis*.

### Список литературы:

- [1] Timofeeva L.M., Klescheva N.A., Vasilieva Y.A., Gromova G.L., Timofeeva G.I., Filatova M.P. Polym. Sci. Ser. A **47**, 551–565 (2005).  
[2] Timofeeva L., Bondarenko G., Nikitushkin V., Simonova Yu., Topchiy M., Eremenko I., Shleeva M., Mulyukin A., Kaprelyants A. Eur. Polym. J. **171C**, 111214-111230 (2022).

### Благодарности

Авторы благодарят сотрудников ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» к.х.н. В.Д. Никитушкина, д.х.н. М.О. Шлееву, проф. А.Л. Мулюкина и проф. А.С. Капрельянца за биохимические исследования.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА В НАНОВОЛОКНАХ ХИТОЗАНА И ЖЕЛАТИНА ПРИ СОВМЕСТНОМ ЭЛЕКТРОПРЯДЕНИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ IN SITU

Литвинов М.Ю., Подшивалов А.В.

*Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург  
mikhail.litvinov.1996@mail.ru*

Хитозан представляет большой практический интерес в качестве основы для создания систем доставки лекарств и полимерных каркасов в тканевой инженерии благодаря биосовместимости, биоразлагаемости, клеточной адгезии [1]. Из-за протонирования аминогрупп хитозан становится полиэлектролитом в кислой среде (при pH ниже pK), поэтому он может образовывать полиэлектролитные комплексы (ПЭК) с отрицательно заряженными полиэлектролитами с образованием сильных диполь-дипольных ассоциаций [2]. На образование и стабильность ПЭК влияет большое количество факторов: степень ионизации, плотность заряда, pH среды, концентрация полиэлектролита, соотношение при смешивании, порядок смешения. Одним из способов получения ПЭК является электропрядение растворов с образованием нановолокон. В данной работе исследуется образование ПЭК в нановолокнах хитозана и желатина в растворах уксусной кислоты при  $pH < pI$ . При исследовании ПЭК в таких системах остается не ясным, как влияют соотношения компонентов и тип смешения на образование ПЭК во время электропрядения. Также перспективным направлением является моделирование взаимодействия между хитозаном и желатином на основе изучения образования ПЭК в их растворах.

В ходе работы для получения нановолокон использовался хитозан производства ЗАО «Биопрогресс» с  $MM = 206 \pm 1.5$  кДа и  $CD = 83.1$  % в 50-90 об.% растворе уксусной кислоты с концентрацией 3-4 мас.% и желатина производства АО «ЛенРеактив» с  $MM = 75.2 \pm 11.5$  кДа в 10-50 об.% растворе уксусной кислоты с концентрацией 16-20 мас.%. Электропрядение проводилось на установке NANON-01A, Месс (Япония) при постоянном напряжении 25-30 кВ и скорости подачи растворов 0.1-0.3 мл/ч при различных технологиях смешения растворов: во время приготовления растворов и в процессе электропрядения (*in situ*). Для исследования ПЭК получены однородные нановолоконные маты со средним диаметром менее 100 нм. В ходе работы при реализации двух представленных выше подходов с помощью ИК-спектроскопии изучено взаимодействие между хитозаном и желатином с образованием ПЭК, которое определялось по смещению соответствующих пиков карбонильных, гидроксильных групп и амидов. С помощью методов капиллярной вискозиметрии, дисперсии светорассеивания при различных значениях pH изучено образование ПЭК между хитозаном и желатином. Изучается влияние конформационных переходов в хитозане и желатине на образование ПЭК в волокнах.

### **Список литературы:**

- [1] Luo Y., Wang Q. International Journal of Biological Macromolecules. **64**, 353 (2014).
- [2] Voron'ko N.G., Derkach S.R., Kuchina Y.A., Sokolan N.I. Carbohydrate Polymers. **138**, 265 (2016).

**АМФИФИЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ  $\alpha$ -АМИНОКИСЛОТ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ ПАКЛИТАКСЕЛА И МИРНК**

Джужа А.Ю.<sup>1,2</sup>, Катернюк Е.В.<sup>1,2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

*polinadzhuzha@mail.ru*

Современные стратегии лечения различных заболеваний предполагают применение носителей лекарственных веществ, обеспечивающих эффективную, пролонгированную и таргетную терапию. В настоящее время все большее внимание уделяется полимерным системам доставки как перспективным формам носителей для решения широкого спектра терапевтических задач.

Полиаминокислоты – это класс синтетических (со)полимеров, характеризующихся способностью к деградации в среде организма, высокой биосовместимостью и наличием варьируемого набора боковых функциональных групп с различными свойствами. Амфифильные полиаминокислоты способны к самоорганизации в водных средах с формированием наноразмерных структур, что позволяет инкапсулировать в образующиеся частицы лекарственные вещества различной природы. Например, недавно были разработаны системы на основе амфифильных сополимеров аминокислот для доставки отдельно цитостатиков [1] и миРНК, приводящих к РНК-интерференции [2]. Направленный дизайн состава сополимеров на основе аминокислот обуславливает их потенциал для конструирования современных систем доставки, включая комбинированные системы доставки цитостатиков и генов.

С целью создания систем комбинированной доставки цитостатиков и миРНК, в настоящей работе были синтезированы серии полимеров на основе L-лизина и L-глутаминовой кислоты, боковые группы которых далее были модифицированы остатками основных аминокислот – гистидина, аргинина, гидрофобных аминокислот (триптофан, фенилаланин, изолейцин, тирозин, валин) и глюкозамином. Методами ВЭЖХ и ЯМР-спектроскопии были изучены составы полимеров; полученные наноразмерные полимерные частицы были охарактеризованы методами статического и динамического рассеяния света, изучены их биологические свойства и способность к инкапсулированию паклитаксела и олигонуклеотидного дуплекса dT-dA как стабильной физико-химической модели миРНК.

**Список литературы:**

[1] *Zashikhina N.N. et al. Europ. J. Pharm. Sci.* **109**, 1 (2017).

[2] *Osipova O. et al. J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, **69**, 103135 (2022).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-20104) и с использованием оборудования Научного парка СПбГУ (РЦ Методы анализа состава вещества, Развитие молекулярных и клеточных технологий и Магнитно-резонансные методы исследования).*

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СУЛЬФОСОДЕРЖАЩИХ МАТРИЦ И ИХ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИ(3,4-ЭТИЛЕНДИОКСИТИОФЕНОМ)**

Лаишевкина С.Г.<sup>1</sup>, Шевченко Н.Н.<sup>1</sup>, Томшик Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт макромолекулярной химии Чешской академии наук, г. Прага*

*s.laishevkina@gmail.com*

Проблема резистивности бактерий к антибиотикам является глобальной проблемой современного здравоохранения. Используемые на данный момент методы определения устойчивости микроорганизмов к действию антибактериальных препаратов являются чувствительными, однако требуют специальных навыков и подготовки, а время их проведения может достигать 18-24 часов. В связи с этим возникает необходимость разработки быстрых, чувствительных и простых в использовании методов диагностики. Антибиотики вызывают гибель бактерий, что сопровождается выделением ионов, электролитов в раствор. В результате этого происходит изменение проводимости раствора, которое необходимо детектировать, подходящим для этого методом является спектроскопия электрохимического импеданса (СЭИ).

В данной работе были получены комплексы, состоящие из электропроводящего, поли(3,4-этилендиокситиофена) (ПЭДОТ) и полиэлектролитной матрицы различной природы (полистиролсульфо кислота (ПССК) или полисульфобетаин метакрилат (ПСБМА)), для использования в качестве чувствительного слоя электрода. Полиэлектролитные матрицы представляли собой микрогели, синтезированные методом обратной дисперсионной полимеризации ССК, а также макрогели, полученные с помощью криотропного гелеобразования СБМА. Полученные матрицы были модифицированы ПЭДОТ в присутствии муравьиной кислоты [1]. Полученные комплексы были проанализированы методом СЭИ, показано, что метод не разрушает полученные комплексы, а их свойства возвращаются к исходным после измерения. Поскольку аналитическим сигналом является увеличение проводимости раствора за счет выделения мертвыми бактериями электролитов, необходимо было изучить на сколько комплексы могут быть чувствительны к изменению состава электролита. Для этого были проведены измерения в фосфатно-солевом буферном растворе, растворах  $H_2SO_4$ , а также солей  $NaCl$ ,  $NaHSO_4$  различных концентраций: 0.005 М, 0.01 М, 0.05 М, 0.1 М. Было показано, что спектры СЭИ зависят как от состава, так и от концентраций электролита. Также изучены условия, в которых комплексы обладают минимальной адсорбцией бактерий и показаны пределы допустимых значений прикладываемого потенциала, чтобы не допустить гибель бактерий.

**Список литературы:**

[1] *Tomšík E., Ivanko I., Svoboda J., Šeděnková I., Zhigunov A., Hromádková J., Pánek J., Lukešová M., Velychktivska N., Janisová L. Macromol. Chem. Phys. 221, 18 (2020).*

**Благодарности**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90138.*

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗОРБИРУЕМЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ КОСТНОЙ ПЛАСТИКИ

Константинова П.А.<sup>1</sup>, Тагандурдыева Н.А.<sup>1</sup>, Дресвянина Е.Н.<sup>1</sup>, Ваганов Г.В.<sup>1,2</sup>,  
Добровольская И.П.<sup>1,2</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
kra2020@list.ru

Одной из актуальных проблем в костной пластике является отсутствие биорезорбируемых имплантатов, соответствующих одновременно требованиям удовлетворительных механических свойств и скорости биорезорбции.

Подобные материалы должны также обладать упругими и механическими свойствами близкими к свойствам нативной ткани, а также скоростью резорбции, сопоставимой со скоростью восстановления костных дефектов. Решением данной проблемы является разработка биорезорбируемых композиционных материалов, которая позволит задавать необходимую скорость резорбции в зависимости от конкретного случая в хирургической практике.

Таким образом, целью исследования является разработка и исследование композиционных материалов на основе биорезорбируемых хитозановых волокон и алифатических полиэфиров.

Наполнитель на основе хитозана с разной молекулярной массой (ММ) и степенью деацетилирования (СД) в виде тканного и нетканного материала получен путем формования хитозановых волокон методом мокрого формования. Матрицы на основе алифатических полиэфиров получали методом экструзии в виде пленки. Биорезорбируемый композиционный материал получали методами каландрирования и прессования. Исследования механических свойств показали, что с увеличением ММ увеличивается и прочность волокна. При исследовании кинетики резорбции *in vitro* в фосфатном буферном растворе (PBS) выявлена потеря массы у волокон с низкой СД (85-90%); при повышении СД хитозана (выше 90%) потеря массы волокон наблюдалась только в присутствии лизоцима, при этом ММ практически не влияет на скорость резорбции. Результаты исследования прочности и модуля упругости полученных композитов показали их близость к аналогичным значениям костной ткани. Цитологические исследования подтвердили биосовместимость и отсутствие цитотоксичности полученных волокон. На основе полученных результатов путем подбора СД и ММ наполнителей из хитозановых волокон можно прогнозировать скорость резорбции и механические свойства волокон и тканей, а также композиционных материалов на их основе. В дальнейшем планируется проведение исследования композитов *in vivo*.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 19-73-30003.

**АМФИФИЛЬНЫЕ АЛКИЛИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭМУЛЬСИЙ МАСЛО/ВОДА**

Попырина Т.Н.<sup>1</sup>, Демина Т.С.<sup>1,2,3</sup>, Акопова Т.А.<sup>1</sup>.

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

<sup>2</sup>*Институт регенеративной медицины, ПМГМУ им. И.М. Сеченова Министерства  
здравоохранения России (Сеченовский Университет), г. Москва*

<sup>3</sup>*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский  
университет), г. Москва  
popyrina@ispm.ru*

Хитозан – линейный полисахарид, являющийся природным полимером, который обладает широким спектром ценных свойств, благодаря чему его активно используют в различных областях. Одним из перспективных применений является стабилизация эмульсий для пищевой и биомедицинской отраслей. Однако, немодифицированный хитозан обладает относительно низкой стабилизирующей способностью. Введение в его структуру гидрофобных фрагментов позволяет регулировать амфифильные свойства полисахарида и успешно использовать для стабилизации различных типов эмульсий, применение которых требует биосовместимости и способности к биодеградации.

Целью работы являлось исследование способности алкилированных производных хитозана стабилизировать эмульсии масло/вода. Производные были получены при помощи механохимического модифицирования хитозана с различной ММ (80, 120 и 350 кДа) глицидиловыми эфирами доказана и гексадекана в соотношении 50/50 в двухшнековом экструдере [1]. Согласно данным элементного анализа и ИК-спектроскопии степень замещения производных варьировалась от 0.006 до 0.19 в зависимости от условий проведения реакции. Способность алкилированных производных хитозана стабилизировать границу раздела фаз оценивали в процессе получения микрочастиц из полилактида методом испарения растворителя из эмульсий масло/вода. В качестве дисперсной фазы использовали раствор полилактида в дихлорметане, который диспергировали с помощью верхнеприводной мешалки в дисперсионной среде, которой являлись 1 мас.% растворы хитозана или его производных в 2% растворе уксусной кислоты. Установлено, что выход микрочастиц, стабилизированных алкилированными производными, выше, чем при использовании раствора немодифицированного хитозана в качестве дисперсионной среды. Морфология полученных микрочастиц была исследована при помощи сканирующей электронной микроскопии, а наличие хитозана на их поверхности подтверждали с помощью селективных флуоресцентных меток.

**Список литературы:**

[1] *Akopova T.A., Demina T.S., Khavpachev M.A., Popyrina T.N., Grachev A.V., Ivanov P.L., Zelenetskii A.N. Polymers. 13 (16), 2807 (2021).*

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ПОЛИ(2-ЭТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА), ПОЛИ(2-МЕТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА) И ПОЛИ(2-ПРОПИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА) С ИОДОМ**

Махаева Д.Н.<sup>1</sup>, Ирмухаметова Г.С.<sup>1</sup>, Хуторянский В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Университет Рединга, г. Рединг, Великобритания

*danelya.1993@gmail.com*

В настоящее время в мире существует проблема появления и быстрого распространения новых опасных вирусов и бактерий, вызывающих высокую смертность населения и экономические проблемы. Использование водорастворимых биосовместимых полимеров и их комплексов с природными и синтетическими биоцидами позволит разработать эффективные антимикробные препараты, не вызывающие раздражения при постоянном применении и способные образовывать на обрабатываемой поверхности защитную пленку, продлевая их биоцидное действие [1]. В связи с этим целью настоящей работы является исследование новых биосовместимых полимерных композиций на основе комплексов с известным биоцидом – йодом – для обработки поверхностей.

Поли(2-метил-2-оксазолин) и поли(2-пропил-2-оксазолин) синтезировали по методике, описанной ранее [2]. Эти полимеры были охарактеризованы с помощью <sup>1</sup>H ЯМР и ИК-спектроскопии. Получены новые комплексы некоторых полимеров, таких как поли(2-метил-2-оксазолин), (поли(2-этил-2-оксазолин) и поли(2-пропил-2-оксазолин), с йодом путем растворения полимеров в водном растворе йод/йодид калия при молярном соотношении [повторяющееся звено полимера:йод] = 1:1, 5:1 и 10:1 при комнатной температуре и 18°C для поли(2-пропил-2-оксазолина). Комплексообразование изучено физико-химическими методами (вискозиметрия, УФ-спектроскопия и метод распределения) в сравнении с поли(N-винилпирролидоном). Также комплексообразование поли(2-этил-2-оксазолина) с йодом изучалось нами ранее методами изотермического калориметрического титрования и динамического светорассеяния [3].

С помощью вискозиметрии изучено гидродинамическое поведение полимеров и их конформация в растворе йода. Одним из основных признаков комплексообразования является падение значения характеристической вязкости. В случае полиоксазолинов значения характеристической вязкости снижаются по сравнению с водными растворами. Коэффициент распределения дает информацию о связывающей способности полимеров с молекулярным йодом. В случае йода коэффициент распределения был около 1. Для всех комплексов полиоксазолинов-йод и ПВП-йод коэффициент распределения был больше 1. Установлено, что полиоксазолины действительно образуют комплексы с йодом и основными признаками комплексообразования являются интенсивная окраска, агрегация и уплотнение макромолекул.

**Список литературы:**

[1] Zmonarski. S., Stojanowski, J., Zmonarska, J., Polim. Med. **50(2)**, 79 (2020). [2] Shan, X., Williams, A.C., Khutoryanskiy V.V., Pharmaceutics **13(5)**, 119884 (2020). [3] Makhayeva D.N., Filippov S.K., Yestemes S.S., Irmukhametova G.S., Khutoryanskiy V.V., Eur. Polym. J. **165**, 111005 (2022).

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МОНОЛИТОВ ИЗ ДИМЕТАКРИЛАТА ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И ВИСМУТСОДЕРЖАЩИЕ БАКТЕРИЦИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Ковылин Р.С.<sup>1</sup>, Журавлев В.И.<sup>1</sup>, Шишкин А.Ю.<sup>2</sup>, Смирнов В.Ф.<sup>2</sup>, Чесноков С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева  
Российской академии наук, г. Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород  
roman@iomc.ras.ru*

Одним из наиболее вероятных осложнений, связанных с имплантацией любого материала, является инфицирование. В большинстве случаев лечение колонизированного имплантата затруднено и требует больших усилий, что вынуждает прибегать к замене имплантата. Решением проблемы может стать использование имплантатов на основе пористых материалов с бактерицидным эффектом пролонгированного действия. Такие материалы должны обеспечивать бактерицидную активность в течение длительного периода и, вместе с тем, не должны вызывать цитотоксические реакции в эукариотических клетках. В ходе исследования мы предложили и реализовали простой и эффективный метод получения пористых полимерных материалов с бактерицидными свойствами состоящий в обработке полимеров с заданными поровыми характеристиками раствором цитрата висмута. Методом фотополимеризации под действием видимого света композиций на основе диметакрилата этиленгликоля (ДМЭГ) в присутствии различных порообразующих агентов получены серии образцов пористого поли-ДМЭГ. Влияние природы и концентрации порообразующего агента на поровую структуру полученных полимеров исследовано методами ртутной порометрии и сканирующей электронной микроскопии. Установлено, что при использовании смеси порообразующих агентов увеличение содержания 1-бутанола относительно 1-октанола от 1/2 до 3/0 приводит к росту среднего размера пор от 4.5 до 9.6 мкм. Показано, что увеличение температуры фотополимеризации от 10 до 40 °С для композиции ДМЭГ – 70 мас. % 1-бутанол приводит к последовательному увеличению размера пор в полимере. Установлено, что до пропитки пористые образцы из поли-ДМЭГ не обладают бактерицидным эффектом. После обработки образцов раствором цитрата висмута бактерицидный эффект по отношению к грамм-отрицательным *Escherichia coli* не появляется. Пропитка образцов раствором цитрата висмута позволяет получать материалы с сильным бактерицидным эффектом (диаметр зоны ингибирования более 19 мм) по отношению к грамм-положительным *Staphylococcus aureus*. Полученные результаты делают перспективным предложенный подход к формированию пористых материалов медицинского назначения с бактерицидными свойствами.

### **Благодарности**

*Работа выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитический центр ИМХ РАН» при поддержке гранта "Обеспечение развития материально-технической инфраструктуры центров коллективного пользования научным оборудованием". Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента МК-4981.2021.1.3.*

## СОЗДАНИЕ БИОСВМЕСТИМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛУКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ И МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Тюбаева П.М.<sup>1,2</sup>, Ольхов А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, г. Москва  
*polina-tyubaeva@yandex.ru*

В настоящее время большой интерес представляет разработка эффективных методов контролируемой модификации биосовместимых полукристаллических полимеров для медицины. Целью данной работы является создание ультратонких волокон на основе поли-3-гидроксibuтирата (ПГБ) методом электроформования с введением модифицирующей добавки – тетрапиррола природного происхождения, гемина. Гемин обладает множеством преимуществ: он термостабилен, обладает антимикробной активностью, биосовместим и может быть использован в медицинских целях.

Исследование позволило установить зависимость между изменениями в надмолекулярной структуре и свойствах ультратонких волокон на основе ПГБ и концентрацией гемина. На рисунке 1 приведены микрофотографии морфологии материалов до и после введения гемина.

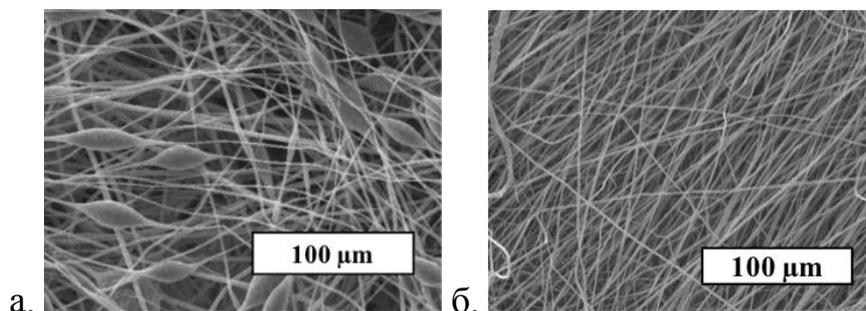


Рис. 1 – Микрофотографии нетканых волокнистых материалов на основе ПГБ (а) и ПГБ с 5% гемина (б).

Введение добавки позволяет улучшить качество производимых волокон, так как гемин оказывает влияние на формовочные свойства раствора полимера. Также введение небольшой концентрации гемина (5%) позволяет увеличить разрывное удлинение с 3.6 до 6.1%, разрывное напряжение с 1.7 до 5.5 МПа. Волокнистые материалы на основе ПГБ гидрофобны, однако, введение 1-3% гемина позволило гидрофилизовать поверхность нетканого материала на 3-5%. Также модифицирующая добавка оказывает значительное влияние на надмолекулярную структуру ПГБ. В работе исследованы различные аспекты наблюдаемого эффекта.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МК-1651.2022.1.3.*

## ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ВАНАДИЯ С ВИНИЛФОСФОНОВЫМ СОПОЛИМЕРОМ

Горкуша Г.В.<sup>1</sup>, Панина Н.С.<sup>1</sup>, Рузанов Д.О.<sup>2</sup>, Литосов Г.Э.<sup>1</sup>, Назарова О.В.<sup>2</sup>,  
Панарин Е.Ф.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
ggorkusha@technolog.edu.ru

Координационные соединения ванадия (IV) и (V) – подтвержденные инсулиномиметики – они используются при лечении сахарного диабета, а также в целях кардиозащиты и иммуномодуляции в ультрамалых концентрациях [1]. С другой стороны, водорастворимые полимеры являются средствами доставки в организм лекарственных форм биоактивных веществ. Существенный интерес представляет непосредственная модификация комплексов ванадия селективно связанными водорастворимыми полимерами с ММ=5000-70000. При этом металлополимерные материалы, обладающие наноразмерными структурами, имеют особые физические и химические свойства (управляемый химический состав). Металлополимерные наноконпозиты получали в водном растворе, диализом удаляли избыток низкомолекулярных компонентов и выделяли лиофильной сушкой. Методами ИК, УФ-спектроскопии исследована структура полученных наноконпозитов, установлена химическая связь между звеньями сополимера винилфосфоновой кислоты в полимере через гидрофосфонатную группу с атомом ванадия, входящим в состав комплексного аниона (Рис. 1).

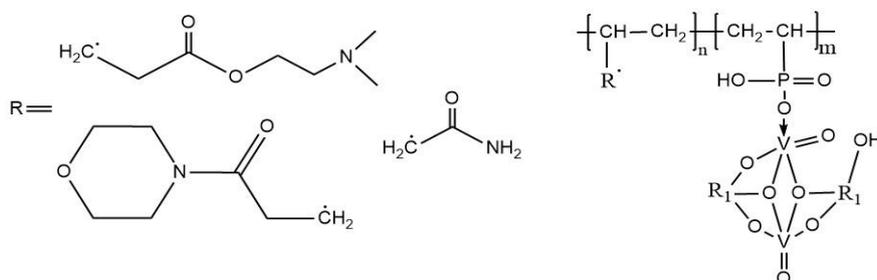


Рис. 1 – Схема формирования металлополимерного композита через фосфонатную группу сополимера, где R – 2-диметиламиноэтилметакрилат, 4-акрилоилморфолин, акриламид; R<sub>1</sub> – анион лимонной кислоты (Cit<sup>3-</sup>).

Квантово-химическими DFT-расчетами была подтверждена предполагаемая модель. Установлено, что такого типа связывание возможно в случае протонирования карбоксилатных групп комплекса  $[\text{V}_2\text{O}_2(\text{HCitr})_2]^{2-}$ , это может обеспечиваться подкислением реакционной системы при синтезе наноконпозита.

### Список литературы:

[1] Kaliva M., Gabriel C., Raptopoulou A.T., Salifoglou A. Inorg. Chim. Acta. **361**, 2631 (2008).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание 0785.00.X6019).

## СПОСОБЫ ПРИДАНИЯ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ БИОРАЗЛАГАЕМЫМ ПОЛИМЕРНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Масталыгина Е.Е.<sup>1,2</sup>, Воронцов Н.В.<sup>1,2,3</sup>, Хайдаров Т.Б.<sup>1,2,3</sup>, Захарова О.В.<sup>1</sup>,  
Ольхов А.А.<sup>1,2</sup>, Бурмистров И.Н.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»,  
Высшая Инженерная Школа «Новые материалы и технологии», г. Москва

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля» РАН, г. Москва

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», г. Москва

*elena.mastalygina@gmail.com*

Создание биоразлагаемых полимерных материалов с антимикробными свойствами является актуальной научно-практической задачей в области разработки материалов для упаковки и медицины [1]. В качестве антимикробных добавок для полимолочной кислоты (ПЛА) исследованы соединения меди с различными параметрами растворимости в водной среде: оксид меди (II) порошковый, оксид меди (II) полые микросферы, сульфат меди (II) порошковый. Содержание антимикробной добавки составляло 0,5, 1, 2 мас.%. Добавки вводились с ПЛА матрицу путем предварительного получения суперконцентратов растворным методом с последующим компаундированием суперконцентрата с матричным полимером с помощью обогреваемых смесительных валльцев [2].

Для анализа токсичности образцов листовых материалов использовалась методика биотестирования водных экстрактов с применением люминесцентных бактерий *Escherichia coli* («Эколюм», Иммунотех) в соответствии с МР 01.018-07. Проведенный анализ токсичности показал, что все исследуемые добавки оказывают ингибирующее действие на используемый тест-объект. Вследствие высокой растворимости в воде сульфат меди легко диффундирует в анализируемую среду, проявляя высокую токсичность уже через 24 часа экстрагирования. Однако, при определении остаточной токсичности обнаружено, что количество добавки доступной для контакта с окружающей водной средой уменьшается. Оксиды меди в матрице ПЛА, имеющие ограниченную растворимость в воде, проявляли свою токсичность лишь спустя 168 часов экстрагирования. При этом добавка на основе микросфер в ПЛА имела более высокие антибактериальные свойства по сравнению с порошком оксида меди.

### Список литературы:

[1] Попов А.А., Зыкова А.К., Mastalygina E.E. Russian Journal of Physical Chemistry B **14** (3) 533 (2020). [2] Ольхов А.А., Пантюхов П.В., Масталыгина Е.Е., Бурмистров И.Н., Воронцов Н.В., Зыкова А.К., Подзорова М.В., Тертышина А.А., Попов А.А. Плехановский научный бюллетень **2** (18) 60 (2020).

### Благодарности

Масталыгина Е.Е. выражает благодарность финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-3573.2022.1.3, «Создание биоразлагаемых полимерных материалов для медицинских трубок на основе полимолочной кислоты и адипиновых производных»). Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования РЭУ им. Г.В. Плеханова.

**СЕКЦИЯ 4**

***БИОПОЛИМЕРЫ И ПОЛИМЕРЫ  
МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

#### 4-P-01

### КОМПЛЕКСЫ ХИТОЗАНА И АНИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ ПРОТИВ SARS-COV-2

Авдеев М.М.<sup>1,2</sup>, Корнилаева Г.В.<sup>3</sup>, Лиу В.Дж.<sup>4</sup>, Соуза Т.М.Л.<sup>5</sup>, Гао Г.Ф.<sup>6,7</sup>,  
Карамов Е.В.<sup>3</sup>, Шибаяев А.В.<sup>1</sup>, Филиппова О.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> ЛНФ им. И.М. Франка, ОИЯИ, г. Дубна

<sup>3</sup> НИЦЭМ им Н.Ф.Гамалеи, г. Москва

<sup>4</sup> Главная лаборатория биобезопасности при НКЗ (ННС), Национальный институт по контролю и профилактике вирусных заболеваний, г. Пекин, Китай

<sup>5</sup> Центр технологического развития в здравоохранении (CDTS)/Национальный институт науки и технологий по инновациям в области неискоренённых болезней населения (INCT IDPN), FIOCRUZ, г. Рио де Жанейро, Бразилия

<sup>6</sup> Главная лаборатория патогенной микробиологии и Иммунологии,

Институт микробиологии, Китайская Академия Наук, г. Пекин, Китай

<sup>7</sup> Национальный институт по контролю и профилактике вирусных заболеваний, Китайский центр по контролю и профилактике заболеваний, г. Пекин, Китай  
avdeev@polly.phys.msu.ru

Пандемия SARS-CoV-2 дала начало многочисленным исследованиям, направленным на разработку новых дезинфицирующих средств, эффективных против коронавирусов. С помощью покрытий с противовирусной активностью возможно очищение поверхностей различных материалов от вируса. Новый класс подобных дезинфицирующих средств включает в себя водорастворимые ПАВ-полимерные комплексы (анионные ПАВ предпочтительнее катионных из-за меньшей токсичности). Целью данной работы являлось изучение противовирусной активности комплексов, образованных природным катионным полимером (хитозан) и анионными поверхностно-активными веществами (ПАВ). ПАВ-полимерные гели готовились в результате смешивания хитозана и раствора ПАВ при рН, протонирующем аминогруппы полимера, что связывало его с противоположно-заряженными молекулами ПАВ. Было изучено фазовое поведение комплексов и обнаружена широкая однофазная область при избытке – NH<sub>3</sub><sup>+</sup> хитозановых групп над анионными группами ПАВ. Образование комплексов было доказано снижением ККМ ПАВ при добавлении полимера. Стабильность комплексов исследовалась следующим образом: водный раствор комплексов подвергался диализу в течение 1-2 сут., затем, его количественный состав определялся методом ЯМР по 1H (в результате получено, что почти каждая молекула ПАВ образует комплекс с заряженными аминогруппами, и не существует свободных молекул ПАВ, которые можно было бы удалить диализом). Наконец, изучалась противовирусная активность комплексов и их компонентов на вирусных частицах SARS-CoV-2: комплексы начинают проявлять противовирусную активность при очень малых концентрациях, в отличие от отдельных компонент. Это объясняется кооперативным переносом молекул ПАВ комплекса в вирион, что способствует его разрушению.

#### Благодарности

Исследование финансировалось РФФИ, NSFC и CNPq (исследовательский проект BRICS 085-ChitoTarCoV; проект РФФИ № 20-53-80005).

#### 4-P-02

## КОМПОЗИТНЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ И НАНОЧАСТИЦ ПОЛИ(МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ) В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ КАРБОАНГИДРАЗЫ

Аликпарова Э.Р., Караулова А.Н., Коржиков-Влах В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
*e.alikparova@gmail.com*

Ингибиторы карбоангидразы (ИКА) используются для местного и системного лечения глаукомы, однако существующие препараты обладают относительно короткой продолжительностью действия, что приводит к низкой эффективности и неоптимальным терапевтическим результатам (т.е. ухудшению зрения и даже слепоте). В рабочей группе профессора М.Ю. Красавина в Институте химии Санкт-Петербургского государственного университета был синтезирован ряд соединений с повышенной селективностью и сродством к ферменту-мишени КА-II [1, 2]. Полученные гидрофильные соединения оказались очень эффективными в снижении внутриглазного давления у кроликов после местного глазного введения [1]. Тем не менее, быстрый клиренс данных соединений с поверхности глаза остаётся проблемой их местного применения в виде глазных капель. Таким образом, существует необходимость в разработке формуляций частиц, способных пролонгировать высвобождение ИКА.

Ранее нами были получены наночастицы на основе поли(молочной кислоты) (ПМК). Изучены биосовместимость данных частиц и способность снижать внутриглазное давление (ВГД) у крыс. Было показано, что снижение ВГД не является в должной мере пролонгированным из-за быстрого смывания наночастиц из тканей глаза. Для увеличения удерживания наночастиц из ПМК в данной работе предложено включение их в состав гидрогеля на основе гиалуроновой кислоты. Для этого наночастицы из ПМК были предварительно модифицированы поли(L-лизинном). Полученные и модифицированные составы на основе наночастиц были охарактеризованы с помощью методов динамического и электрофоретического светорассеяния, а также просвечивающей электронной микроскопии. Изучена динамическая вязкость гидрогелей. Сравнительное исследование высвобождения ИКА проводили в биорелевантных условиях и показали способность разработанных систем высвобождать лекарство в необходимой концентрации в течение более месяца.

#### **Список литературы:**

- [1] *Kalinin S.A. et al. J. Enzyme Inhib. Med. Chem.* **31**, 185 (2016).
- [2] *Krasavin M.Yu. et al. Eur. J. Med. Chem.* **164**, 92 (2019).
- [3] *Korzhiikov V.A. et al. J. Microencapsul.* **33** (3), 199 (2016).

#### **Благодарности**

*Работа была выполнена при финансовой поддержке Мегагранта Министерства науки и высшего образования (соглашение 075-15-2021-637).*

## 4-P-03

# ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГАРА ИЗ КРАСНЫХ МОРСКИХ ВОДОРОСЛЕЙ РОДА PORPHYRA

Баранова А.Е., Осовская И.И.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, г. Санкт-Петербург  
barya9309@mail.ru*

Морские водоросли являются уникальным по составу сырьем для получения целого ряда препаратов с широким спектром биологически активных веществ с антимицробной, антивирусной и антибактериальной активностью. Красные морские водоросли – важное сырье для получения природного гелеобразующего вещества, загустителя и стабилизатора – агар-агара [1-2]. Сегодня основными поставщиками агара из красных морских водорослей являются Китай и Индия. Активно ведутся поиски способов извлечения агара из красных водорослей *Ahnfeltia plicata*, произрастающих в Белом море, и *Ahnfeltia tobuchiensis* в дальневосточных морях России. Целью данной работы является выделение агара из красных морских водорослей, изучение пленкообразующих и гелеобразующих свойств. Агар был выделен из цельной сушено-прессованной морской водоросли рода *Porphyra*. Выделенный агар имел показатели, соответствующие требованиям ГОСТ 17206. Показаны реологические и гелеобразующие свойства агара методами вискозиметрии, растворимости, набухания. Получены зависимости изменения вязкости выделенного агара от температуры и концентрации. Выявлен интервал концентраций, при которых происходит образование геля (1,0 - 10,0%), определена минимальная концентрация образования геля - критическая концентрация гелеобразования (ККГ). Показана пленкообразующая способность агара и влияние пластификатора на качество пленок. Установлена прямая зависимость изменения набухания пленки в воде от времени и температуры - объективных характеристик для функционального его использования. При концентрации 1%, обеспечивающей устойчивое гелеобразование, получали покрытия на поверхности материалов. Установлено улучшение свойств текстильных материалов, покрытых раствором агара: снижение сминаемости и улучшение блеска ткани, проявление рисунка кожи [3]. Показаны перспективы для решения проблем, связанных с получением отечественного агара.

### **Список литературы:**

- [1] *Подкорытова А.В.* Рыбная промышленность. **2**, 40 (2004).
- [2] *Stephen A.M., Phillips G.O., Williams P.A.* Food polysaccharides and their applications (2nd ed.). NW, Taylor and Francis group, 2006.
- [3] *Шипунов Б.П., Коптев В.Е., Маркин В.И.* Химия растительного сырья. **1**, 53 (2018).
- [4] *Осовская И.И., Баранова А.Е.* Влияние растворов агара из красных морских водорослей на свойства поверхности ткани, кожи и бумаги. XXVIII Каргинские чтения: тезисы докладов. Тверь, Твер. гос. ун-т, 2022.

**КОНЬЮГАТЫ КОЛИСТИН-ХИТОЗАН: СИНТЕЗ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ**

Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
qwezakura@yandex.ru*

Колистин (КТ) - амфифильный пептидный противомикробный препарат; КТ действует как ингибитор функции клеточной мембраны, что делает его высокоэффективным против микроорганизмов с множественной лекарственной резистентностью. Однако КТ имеет ограничения для медицинского применения из-за высокой нефротоксичности. Привлекательным способом улучшения терапевтических свойств различных противомикробных препаратов (снижение дозы и токсичности) является разработка наноразмерных систем доставки лекарств в виде конъюгатов лекарство-полимер. Полисахарид хитозан (ХЗ) является подходящим биополимером для конъюгации антибиотиков благодаря нетоксичности, биосовместимости и биоразлагаемости. Кроме того, различные производные ХЗ (например, сукцинил-ХЗ) используются для пролонгирования высвобождения лекарств из-за более медленной биodeградации в организме по сравнению с нативным ХЗ [1]. Поэтому прививка КТ к ХЗ является актуальной задачей. В представленной работе конъюгаты КТ с ХЗ были получены двухэтапным синтезом: (i) модификация ХЗ (ММ=37000) янтарным ангидридом для введения карбоксильной функции; (ii) конъюгирование КТ с ХЗ через карбодимид-опосредованную реакцию между NH<sub>2</sub>-группами КТ и COOH-группами сукцинил-ХЗ. В результате были синтезированы конъюгаты со степенями замещения (СЗ) 3, 5 и 8%; полученные конъюгаты имели гидродинамические размеры 100-200 нм и отрицательный ζ-потенциал от -28 до -22 мВ. При этом конъюгаты с высокой СЗ (8%) сохраняли антимикробную активность на уровне чистого КТ (минимальная ингибирующая концентрация в отношении *Pseudomonas aeruginosa* составила 1 мкг/мл). В то же время нефротоксичность разработанных полимерных систем доставки КТ снизилась на 30% (модель клеточной линии НЕК 293). Таким образом, прививка КТ к полисахаридному носителю ХЗ оказалась эффективной стратегией для улучшения биофармацевтических свойств антибиотика.

**Список литературы:**

[1] *Dubashynskaya, N. V., Skorik, Y. A. Pharmaceuticals. 13 (5), 83 (2020).*

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда №19-73-20157.*

## 4-P-05

# КОНЬЮГАТЫ ДЕКСАМЕТАЗОНА С АМФИФИЛЬНЫМИ ПОЛИПЕПТИДАМИ

Гладнев С.В.<sup>1</sup>, Зашихина Н.Н.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

*sergeyglad1920@mail.com*

Дексаметазон – синтетический стероидный препарат широкого спектра действия, применяемый в офтальмологии для лечения воспалительных заболеваний переднего и заднего сегментов глаза. Однако применение дексаметазона ограничено его низкой растворимостью и биодоступностью, быстрым выведением из организма и необходимостью длительного поддержания терапевтической концентрации в клетках-мишенях [1]. Ковалентная конъюгация дексаметазона с полимерными носителями является перспективной стратегией для преодоления имеющихся недостатков. Наиболее интересным классом полимеров для данной цели являются полипептиды, поскольку они биосовместимы, биodeградируемы, а также способны к самоорганизации в наночастицы. В данной работе для конъюгирования были использованы амфифильные сополимеры поли((L-глутаминовая кислота)-co-(D-фенилаланин)).

Были разработаны новые системы доставки дексаметазона на основе конъюгатов дексаметазона с полипептидами, содержащими линкеры различной структуры. Синтез конъюгата проводили в три этапа. На первом этапе получали производные дексаметазона в результате реакции с янтарным или 2-метилянтарным ангидридом в присутствии 4-диметиламинопиридина. На втором этапе методом активированных эфиров модифицировали полимер N-Вос-защищенным этилендиамином. После снятия защитной группы получали полипептид, содержащий свободные аминогруппы. На заключительном этапе образовавшийся полимер ковалентно связывали с производными дексаметазона методом активированных эфиров. Структуры синтезированных веществ были подтверждены методом <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии.

На основе синтезированных полипептидов и их конъюгатов были получены узкодисперсные наноразмерные частицы с физико-химическими характеристиками, подходящими для использования в качестве систем доставки лекарственных веществ. Изучена стабильность частиц в присутствии белков. Исследовано влияние конъюгирования дексаметазона и структуры линкеров на гидродинамические характеристики формируемых частиц.

### Список литературы:

[1] *Dubashynskaya, N. V., Bokaty, A. N., Skorik, Y. A. Biomedicines. 9 (4), 341 (2021).*

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ в рамках Мегагранта № 075-15-2021-637*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ И НАНОАЛМАЗНЫХ ЧАСТИЦ

Григорьев Д.В.<sup>1</sup>, Сивцов Е.В.<sup>2</sup>, Гостев А.И.<sup>2</sup>, Успенская М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет), г. Санкт-Петербург  
dmitriy-get@rambler.ru

Влагоудерживающие материалы с заданными физико-химическими свойствами – гидрогели – в настоящее время активно применяются в косметологии и медицине. Примером могут быть известные акриловые гидрогели, обладающие высокими сорбционными характеристиками, но имеющие важный недостаток – низкие физико-механические свойства, которые значительно затрудняют их практическое применение. Введение в полимерную матрицу минеральных наполнителей приводит к улучшению эксплуатационных механических характеристик материалов. Сами по себе гидрогели не обладают биологической активностью, поэтому для придания материалам на их основе определенного фармакологического эффекта, например, при использовании в качестве повязок для лечения ран или ожогов, необходимо вводить в них лекарственные вещества.

Детонационные наноалмазы (ДНА), являясь неорганическим дисперсным наполнителем, увеличивают механические свойства полимерных композиционных материалов. Они имеют гидрофильную поверхность, на которой находятся гидроксильные, карбоксильные, лактамные и другие функциональные группы, способные участвовать в образовании водородных связей, в том числе и с полимерной матрицей гидрогелей. В то же время, было показано, что ДНА нарушают жизненный цикл вирусов, рост микромицетов и продукцию белка микроорганизмами, оказывая таким образом противомикробное и противовирусное действие [1]. Применение их в составе гидрогелей перспективно, поскольку позволяет решить обе задачи: модификацию физико-механических свойств и придание материалам биологической активности.

В данной работе методами осцилляционной реометрии были изучены реологические свойства композиционных материалов на основе физических и ковалентно сшитых гидрогелей на основе акриловой кислоты и акриламида, наполненных разным количеством ДНА. Показано их влияние на механические свойства геля, определена плотность сшивки и средний размер ячейки сети. Полученные данные позволили дать точную характеристику в виде численных значений конкретных реологических параметров таким трудно доступным понятиям, как прочность гидрогелевой сетки и характер взаимодействия с наполнителем.

### Список литературы:

[1] Shugalei I.V., Voznyakovskii A.P., Garabadzhiu A.V., Tselinskii I.V., Sudarikov A.M., Ilyushin M.A. Russian Journal of General Chemistry. **83** (5), 851 (2013).

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ КОНЬЮГАТОВ ПОЛИМИКСИНА С РАЗЛИЧНЫМИ СИНТЕТИЧЕСКИМИ ПОЛИМЕРАМИ

Дворецкая А.В.<sup>1,2</sup>, Левит М.Л.<sup>2</sup>, Сивцов Е.В.<sup>2,3</sup>, Егорова Т.С.<sup>4</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический Университет), г. Санкт-Петербург

<sup>4</sup>НИИ Особо чистых биопрепаратов ФМБА России, г. Санкт-Петербург  
dvorezkayaanya@mail.ru

В настоящее время остается острой проблема возникновения резистентности к традиционным и к новым, но действующим за счет классических механизмов, антибиотикам. В связи с этим, активно ведется поиск новых лекарственных препаратов с антимикробной активностью. Одними из таких препаратов являются пептидные антибиотики, обладающие разнообразием структур и механизмов проявления бактерицидной активности, а также быстродействием и низкой резистентностью у бактерий. Однако применение их в клинической практике ограничено по причине низкой стабильности в условиях протеолитического расщепления и цитотоксичности, в частности, нейро- и нефротоксичности. Возможный путь преодоления существующих ограничений – использование полимерных систем доставки лекарств.

В данной работе были успешно синтезированы и исследованы конъюгаты антибиотика полимиксина В (PMX В) с поли(глутаминовой кислотой) (PGlu), сополимерами глутаминовой кислоты и фенилаланина П(Glu-co-Phe), и модифицированными поли(N-винилсукцинимидом) (ПВСИ) и поли(2-деокси-2-метакриламидо-D-глюкозой) (ПМАГ). Структуры конъюгатов подтверждены методом <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии, а количество связанного антибиотика и эффективность конъюгирования – методом катионообменной ВЭЖХ. Наночастицы полученных конъюгатов, кроме водорастворимого ПМАГ-PMX В, охарактеризованы методами динамического и электрофоретического рассеяния света, а также методом анализа траектории наночастиц. Также успешно были синтезированы конъюгаты П(Glu-co-Phe) и сидерофора дефероксамина, выступающего в роли вектора для адресной доставки. В ходе биологических исследований было показано, что все конъюгаты проявляли бактерицидную активность по отношению к штамму *P. Aeruginosa*, однако наименьшие значения минимальной ингибирующей концентрации были установлены для водорастворимых конъюгатов. Дополнительное введение дефероксамина в конъюгат полимиксина В с полимером не оказывало влияния на антимикробную активность полученных конъюгатов.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-73-20157).

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОРЕАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРОКСИОКСАЛАТНОЙ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ РЕАКЦИИ В ВОДЕ

Дец Е.А., Якимов Н.П., Мелик-Нубаров Н.С.

*Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва  
liza.dets@mail.ru*

Пероксид водорода является важнейшим метаболитом, продукция которого повышена в раковых клетках. Одной из высокоселективных реакций на  $H_2O_2$  является пероксиоксалатная хемилюминесцентная реакция (ПО-реакция). Свет, излучаемый в ходе этой реакции, можно использовать для фотокаталитической генерации синглетного кислорода, способного убивать раковые клетки.

В ПО-реакции участвуют ароматические эфиры щавелевой кислоты. Поскольку ПО-реакция и гидролиз оксалатов протекают по нуклеофильному механизму, увеличение реакционной способности оксалатов сопровождается понижением их стабильности в водной среде. Поэтому использование ПО-реакции для детекции или уничтожения раковых клеток требует их упаковки в гидрофобное ядро коллоидных частиц. Цель настоящей работы состояла в сравнении способности коллоидных систем обеспечивать высокую интегральную интенсивность хемилюминесценции ( $I_{CL}$ ) и стабильность оксалатов в водных системах.

В работе были исследованы два оксалата, различающиеся по своей природе – биосовместимый бис-(N-бензоил-L-тирозин этиловый эфир) оксалат (БТЭЭ-оксалат), впервые синтезированный в настоящей работе, и коммерчески доступный бис (2-карбопентилокси-3,5,6-трихлорофенил) оксалат (СРРО). Данные оксалаты почти на 5 порядков различаются по значениям рКа фенольной группировки, а, следовательно, по активности в ПО-реакции.

Для упаковки оксалатов были использованы 1) мицеллы блок-сополимеров L-лактида и полиэтиленгликоля (PLLA-PEG), различающихся степенью полимеризации PLLA, 2) эмульсия изопропилмиристата (ИПМ) в воде, стабилизированная липидом. В качестве системы сравнения была использована ранее разработанная эмульсия диметилфталата (ДМФ) в воде, стабилизированная плуроником L64 [1]. Компоненты систем 1 и 2 являются биосовместимыми и биodeградируемыми, в отличие от компонентов системы сравнения.

Оказалось, что обе биodeградируемые системы обеспечивают высокое значение  $I_{CL}$  с более гидрофобным СРРО. В то же время, эффективность системы 2 по отношению к ПО-реакции с БТЭЭ-оксалатом невелика, что вызвано низкой растворимостью БТЭЭ-оксалата пептидной природы в ИПМ. При этом использование системы 1 для проведения ПО-реакции с БТЭЭ-оксалатом обеспечивает высокую эффективность, возрастающую с ростом размера частиц и увеличением гидрофобного блока сополимеров PLLA-PEG.

Таким образом, в работе были подобраны оптимальные условия для проведения ПО-реакции в биodeградируемых системах.

### Список литературы:

[1] *Romanyuk A.V., Grozdova I.D., Ezhov A.A., Melik-Nubarov N.S. Sci. Rep. 7, 3410 (2017).*

## СИНТЕЗ НОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ (IV) НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ВИТАМИНА В<sub>6</sub>

Дубров Е.Н.<sup>1</sup>, Иванова А.М.<sup>2</sup>, Иванов А.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

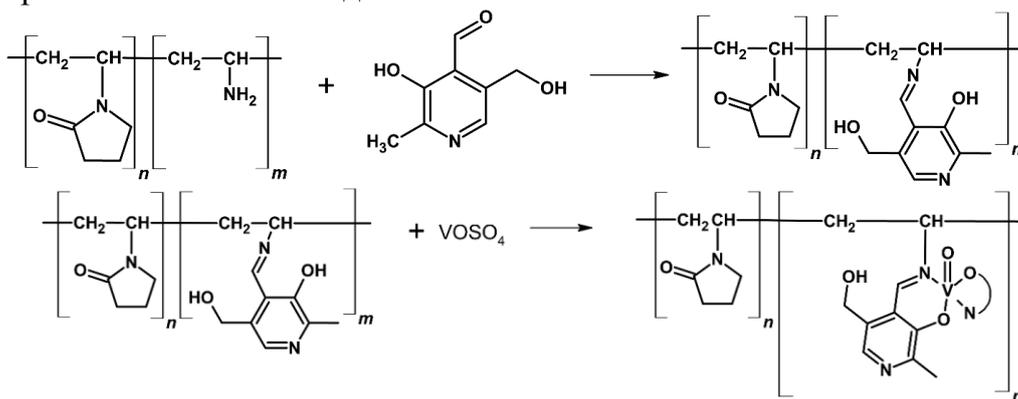
<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт

(Технический университет), г. Санкт-Петербург

evgonij@gmail.com

Одной из актуальных задач современной химии является поиск новых гипогликемических средств, т. к. существующие решения, несмотря на свою многочисленность, имеют ряд недостатков [1], приводящих к невозможности применения данных средств некоторыми больными сахарным диабетом. Возможной альтернативой существующим средствам являются соединения ванадия, для которых показана высокая эффективность снижения уровня глюкозы [2]. Токсичность в высоких концентрациях, низкая биодоступность низкомолекулярных соединений ванадия являются существенными их недостатками, устранить которые возможно путем применения биосовместимых водорастворимых полимеров для доставки ионов ванадила с их последующим контролируемым высвобождением. Выделяющийся в процессе распада комплекса пиридоксаль (витамин В<sub>6</sub>) не будет оказывать существенного влияния на токсичность.

В настоящей работе в качестве полимера-носителя был использован водорастворимый и биосовместимый сополимер N-винилпирролидона с N-виниламином [3], на основе которого методом полимер-аналогичных превращений были синтезированы лиганд-содержащий полимер: поли(винилпирролидон-со-винилпиридоксалиденимин) (80:20 мол%; M<sub>n</sub>= 20 кДа; 50 кДа; 110 кДа) и металл-полимерные комплексы ванадия на их основе:



Полученные соединения охарактеризованы методами УФ, ИК и ЯМР-спектроскопии.

### Список литературы:

[1]. Rathnapala A., Matthias T., Jayasinghe S. Journal of Medical Case Reports. **6** (1), 18 (2012). [2] Thompson K., Orvig C. Journal of Inorganic Biochemistry. **100** (12), 1925 (2006). [3] Панарин Е.Ф., Лавров Н.А., Соловский М.В., Шальнова Л.И. Полимеры – носители биологически активных веществ. СПб, Профессия, 2014

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА ВАНАДИЯ(IV) НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА С N-ВИНИЛСАЛИЦИЛИДЕНИМИНОМ

Дубров Е.Н.<sup>1</sup>, Черкашина В.Г.<sup>2</sup>, Иванов А.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет), г. Санкт-Петербург  
evgonij@gmail.com

Соединения ванадия являются биологически активными молекулами, способными эффективно снижать уровень глюкозы в крови, однако токсичность в высоких концентрациях и низкая биодоступность низкомолекулярных соединений затрудняет их использование. Применение систем доставки позволит снизить токсичность и повысить биодоступность за счет поэтапного высвобождения ионов ванадия. Контролируемость высвобождения биологически активного компонента из полимерного средства доставки является важным критерием, характеризующим такие соединения [1]. Для ванадия система доставки будет представлять собой макромолекулярный комплекс, лабильность которого обусловлена гидролизом азометиновой связи при физиологических pH.

Сополимеры винилпирролидона с виниламином используются в качестве средств доставки биологически активных веществ [2], введение в их состав салицилидениминового фрагмента позволит получить соединение, способное образовывать лабильные комплексы с ионами ванадия и высвобождать их при попадании в среду с необходимым pH. В работе синтезирован поли(N-винилпирролидон-со-N-винилсалицилиденимин) – поли(ВП-со-ВСИ) (80:20 мол%,  $M_n=20$  кДа), и макромолекулярный комплекс ванадия(IV) на его основе, потенциально применимый для доставки и высвобождения ионов ванадия в среде кишечника. Структура полученных соединений доказана методами ИК-, УФ- и <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии. Процент содержания ионов ванадила в металл-полимерном комплексе (МПК) определен спектрофотометрически с применением ксиленолового оранжевого и составил ~ 10 мол%.

Исследование высвобождения  $VO^{2+}$  из МПК осуществляли спектрофотометрически в условиях, приближенных к физиологическим: температура 37 °С, pH=2/1 ч (желудок) или 8/3 ч (кишечник). При pH=2 в течение 1 ч высвобождается 23 %  $VO^{2+}$ , в то время как при pH=8 – 58 %, линейный характер кинетической кривой говорит о равномерности высвобождения ионов ванадила, что позволит регулировать терапевтическую дозу и рассматривать данный комплекс в качестве потенциального гипогликемического средства.

### Список литературы:

[1] Bhatt P., Trehan S., Inamdar, N., Mourya V.K., Misra A. Polymers in Drug Delivery: An Update, Applications of Polymers in Drug Delivery (Second Edition). Amsterdam, Elsevier, 2021.

[2] Панарин Е.Ф., Лавров Н.А., Соловский М.В., Шальнова Л.И. Полимеры – носители биологически активных веществ. СПб, Профессия, 2014.

## 4-P-11

# ЭЛЕКТРОФОРМОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИПИРРОЛА

Завражных Н.А.<sup>1</sup>, Шишов М.А.<sup>1,2</sup>, Селютин А.А.<sup>3</sup>, Яворская О.А.<sup>4</sup>,  
Иванькова Е.М.<sup>1,2</sup>, Сапурина И.Ю.<sup>2</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>4</sup> ГБОУ СОШ № 347, г. Санкт-Петербург

*zavrazhnykhna96@gmail.com*

Полилактиды – это алифатические полиэфиры, получаемые из возобновляемого сырья в промышленных масштабах, главным достоинством которых является биосовместимость и способность к биodeградации. Полилактиды находят широкое применение в регенеративной медицине как носитель для формирования клеточных тканей. Актуальной задачей является разработка электропроводящих носителей, поскольку многие виды клеток электроактивны и ускоренно растут и развиваются при наложении электрического поля. Электропроводящие композиты с биосовместимыми свойствами получают, вводя в состав полилактидов графен, углеродные нанотрубки или электропроводящие полимеры. В ходе данного исследования получены пленочные и трубчатые носители на основе полилактида и электропроводящего полипиррола с электросопротивлением порядка десяти кОм/кв, позволяющие проводить электростимуляцию клеток.

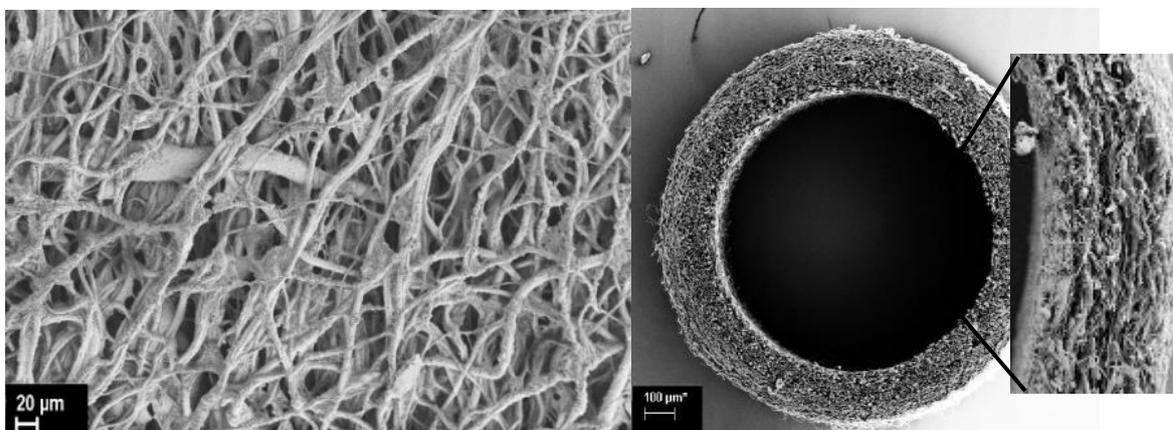


Рис. 1. – СЭМ изображения полученного материала

Методом электроформования из полилактида получены пленочные и трубчатые материалы, состоящие из сплетенных волокон диаметром несколько микрон. Поверхность волокон модифицирована электропроводящим слоем полипиррола толщиной 100 нм (рисунок 1). Изучены электропроводящие, механические и электрохимические свойства материалов, их стабильность и биосовместимость.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№ 19-73-30003).*

## 4-P-12

# СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ТАКСАНОВ НА ОСНОВЕ КОНЬЮГАТОВ С ХИТОЗАНОМ

Зеленцова Е.В.<sup>1,2</sup>, Пошина Д.Н.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, г. Санкт-Петербург*  
*zelencova.ekaterina@pharminnotech.com*

Химиотерапия, среди прочих методов борьбы с раком, является наиболее эффективным и распространенным средством лечения онкологии. Противоопухолевый агент паклитаксел наряду с другими таксанами обладает высокой эффективностью по отношению к различным типам раковых клеток [1], однако плохая растворимость и высокая общая токсичность снижают его терапевтические свойства [2]. Одним из способов повышения эффективности применения таксанов является включение в полимерные носители, среди которых своими свойствами выделяются нетоксичные и биоразлагаемые природные полисахариды. Конъюгирование гидрофобных таксанов и гидрофильных полисахаридов позволяет получить самособирающиеся частицы нано- и субмикронных размеров, стабилизирующие таксаны в водной среде [3].

Целью данной работы является разработка системы внутриопухолевой доставки паклитаксела на основе конъюгатов с хитозаном. Конъюгирование с хитозаном (молекулярная масса 37000, степень дезацетилирования 0,74) было осуществлено через сукцинильный линкер, образование конъюгата подтверждено методами ИК-Фурье и <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии. Самособирающиеся наночастицы имели сферическую форму по данным атомно-силовой микроскопии, средний гидродинамический радиус частиц составил около 85 нм и ζ-потенциал – не менее +29 мВ. Общее кумулятивное высвобождение паклитаксела было выше при pH 5, чем при pH 7,4. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности разработки систем доставки таксанов на основе конъюгатов с хитозаном.

### **Список литературы:**

- [1] *Feng T., Zhao Y. Nanomaterial-based drug delivery carriers for cancer therapy. New York City, Springer, 2017.*
- [2] *Bernabeu. E., Cagel M., Lagomarsino E., Moretton M., Chiappetta D. A. International Journal of Pharmaceutics. 526, 474 (2017).*
- [3] *Fathi M., Majidi S., Sahandi P., Barar Z. J., Erfan-Niya H., Omidi Y. Medicinal Research Reviews. 38, 2110 (2018).*

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда (проект 22-25-20116).*

## 4-P-13

# ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ БИОПОЛИМЕРОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Кириллов А.С., Малахова И.И., Горшков Н.И.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
a.kirillov2622@gmail.com*

Биополимеры растительного происхождения, проявляющие фармакологическую активность, широко применяются в медицинской практике в качестве активных субстанций в лекарственных препаратах широкого профиля. Особый интерес представляют растительные полисахариды, гликопротеины/протеогликаны, а также полифенольные соединения (флоротанины), которые обладают уникальной химической природой, макромолекулярной структурой, физико-химическими свойствами и высокой биологической активностью. Традиционные методы получения биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья, предполагающие экстрагирование и последующее осаждение целевых продуктов, имеют низкую эффективность и воспроизводимость. В настоящей работе, в качестве альтернативы дробному осаждению компонентов растительных экстрактов, предлагается применение хроматографических методов. В виду того, что при первичной экстракции растительного сырья получают сложную многокомпонентную смесь высоко- и низкомолекулярных соединений разной химической структуры, практически нет работ по применению хроматографических методов выделения и очистки на всех стадиях процесса получения чистых продуктов. Ключевой проблемой при хроматографической очистке БАВ из экстрактов растительного сырья является отделение целевых продуктов от высокосшитой матрицы, которая осаждается на клеточной стенке при суберинизации и состоит из различных липидных полимеров, суберинов и лигниноподобных фенолов. Для решения этой проблемы были разработаны новые варианты полимерных сорбентов на основе сверхсшитых стирол-дивинилбензолных гелей, позволившие отделить целый ряд полифенольных компонентов из экстрактов растительного сырья. Разработана двухступенчатая хроматографическая система, включающая колонку со сверхсшитым полистирольным сорбентом (ССПС), который был получен в ходе реакции сшивания по Фриделю-Крафтсу предварительно синтезированного методом радикальной суспензионной полимеризации макропористого сополимера стирола и дивинилбензола, а также колонку с гидрофобизированным силикагелем (С8). Эффективность такой системы обусловлена возможностью отделения продуктов суберинизации за счет их сорбции на ССПС (с возможностью дальнейшей регенерации) и видовом градиентном разделении соединений на колонне с фазой С8 за счет различия в их гидрофобности/гидрофильности. В качестве исходного растительного сырья для получения полисахаридов и гликопротеинов/протеогликанов использовались арктические бурые водоросли семейства Fucaceae и быстро делящиеся клетки (проростки) картофеля семейства пасленовых (Solanaceae). Применение разработанной хроматографической системы позволило осуществить видовое разделение соединений, содержащихся в экстрактах растительного сырья.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТБЕЛИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЗУБНЫХ ПАСТ С НАТИВНЫМ И КАПСУЛИРОВАННЫМ ФЕРМЕНТНЫМ ПРЕПАРАТОМ

Кислинская М.А., Кудрявцева Е.В., Шалыгина В.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург  
m.kislinskaya@yandex.ru*

Средства гигиены полости рта являются одними из наиболее важных косметических изделий. Помимо общего ухода за зубами и полостью рта, они зачастую выполняют и дополнительные функции – оказывают противовоспалительное, реминерализующее или отбеливающее действие [1,2]. Наиболее «мягкими» отбеливающими ингредиентами в составе зубных паст, работающими по принципу химического отбеливания, являются ферменты [3]. Однако и сами ферментные препараты, для обеспечения их долговременной стабильности, нуждаются в защите. Наиболее популярным способом защиты ферментов является их инкапсулирование [4].

В данной работе была выполнена инструментальная оценка степени отбеливающего действия зубных паст на основе диоксида кремния с добавкой комплексного ферментного препарата – папайи экстракт сухой, иммобилизованного на кальций – альгинатном носителе. Полученные микрочастицы с ферментом, после проверки их протеолитической активности, вводили в состав зубной пасты.

Исследование отбеливающего действия проводили по стандартизованному методу на специально приготовленных пластинах из гидроксиапатита [5]. Для каждого образца определяли характеристики цвета в системе CIELAB и величину цветового различия между усредненными характеристиками цвета образцов контрольной и опытной группы.

Спектральное исследование цвета образцов проводили на спектрофотометре Color I-5 (Gretag Macbeth Spectroeye).

Изучено влияние условий иммобилизации – концентрации полимера, концентрации ферментного препарата, времени контакта, а также состава базовой зубной пасты.

### **Список литературы:**

- [1] Акулович А.В., Смирнова М.А., Акулович О.Г., Горохова Д.И., Романова Т.В., Купец Т.В. Пародонтология. **2**, 42 (2011)
- [2] Li R., Li Y., Chen J. Am. J. Dent. **25** (4), 210 (2012).
- [3] Пучкова Т.В. Основы косметической химии. Функциональные ингредиенты и биологически активные вещества. Том 2. М., Школа косметических химиков, 2017.
- [4] Sawada S., Akiyoshi K. Macromolecular Bioscience. **10** (4), 353 (2010).
- [5] ГОСТ Р 702.3.004—2021. Пасты зубные с заявленным отбеливающим действием.

#### 4-P-15

### СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ПАКЛИТАКСЕЛА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ГЛИКОПОЛИМЕР-БЛОК-ПОЛИПЕПТИДОВ

Левит М.Л., Зашихина Н.Н., Коржикова-Влах Е.Г.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
musia\_1@yahoo.com*

В настоящее время среди приоритетных направлений в области лечения онкологических заболеваний является повышение эффективности противоопухолевой терапии за счет улучшения биодоступности действующей субстанции с одновременным снижением системной токсической нагрузки на организм. Перспективным инструментом в достижении данной цели является использование систем доставки лекарств, среди которых полимерные системы имеют ряд преимуществ по сравнению с липосомами, липидными и неорганическими наночастицами. Такие факторы, как природа, сочетание синтетических и природных фрагментов, а также наличие функциональных групп в полимерной цепи имеют большое значение, так как обеспечивают возможность варьирования таких характеристик и свойств как морфология и размер формируемых наночастиц, заряд их поверхности, устойчивость к биодеградации/скорость биодеградации, биосовместимость, и др.

В данной работе для получения полимерных наночастиц использовали гибридные гликополимер-полипептидные блок-сополимеры, состоящие из недеградируемого гидрофильного блока поли(2-деокси-2-метакриламида-D-глюкозы (ПМАГ) и статистического биодеградируемого полипептида (второго блока) поли(L-лизин-*co*-L-фенилаланин (П(Lys-*co*-Phe) или поли(L-глутаминовой кислоты-*co*-L-фенилаланин) (П(Glu-*co*-Phe). Указанные амфифильные блок-сополимеры ПМАГ-*б*-П(Lys/Glu-*co*-Phe) синтезировали последовательным использованием методов контролируемой радикальной полимеризации с обратимой передачи цепи и полимеризации с раскрытием цикла N-карбоксихидридов  $\alpha$ -аминокислот, с последующим деблокированием защитных групп функциональных аминокислот. Все блок-сополимеры были охарактеризованы комплексом физико-химических методов для определения молекулярно-массовых характеристик (эксклюзионная хроматография,  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопия) и состава (ВЭЖХ анализ,  $^1\text{H}$  ЯМР и ИК-спектроскопия). Исследование цитотоксичности наночастиц на нескольких клеточных линиях показало отсутствие токсического эффекта разработанных полимерных систем доставки для клеток. Проникновение частиц в клетки было подтверждено методом флуоресцентной микроскопии. С использованием метода проточной цитофлуориметрии изучена скорость и эффективность захвата наночастиц макрофагами. Проведено инкапсулирование паклитаксела в полимерные системы различного состава, и подтверждена эффективность действия инкапсулированных форм с использованием клеток аденокарциномы легкого (клеточная линия A549) и аденокарциномы молочной железы человека (MCF-7). Полученные значения IC50 для инкапсулированных форм были сопоставимы или превосходили коммерческий препарат Паклитаксел-ЛЭНС.

## БИОПОДОБНЫЕ НАНОКОНТЕЙНЕРЫ НА ОСНОВЕ ХОЛЕСТЕРИНСОДЕРЖАЩИХ СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

Левит М.Л.<sup>1</sup>, Зашихина Н.Н.<sup>1</sup>, Гостев А.И.<sup>2</sup>, Сивцов Е.В.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт Высокмолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), г. Санкт-Петербург  
musia\_1@yahoo.com*

Среди многочисленных классов материалов, используемых для доставки лекарственных средств, коллоидные системы на основе амфифильных сополимеров, содержащих гидрофильные и гидрофобные сегменты, привлекают большое внимание благодаря доступности, относительной простоте и возможности синтеза желаемых химических структур. Большой интерес исследователей вызывает создание искусственных наноматериалов, имитирующих свойства биоматериалов или созданные на основе принципов, реализованных в живой природе. Известно, что холестерин является важнейшим компонентом плазматической мембраны и участвует во многих биологических процессах. Поэтому, предполагается, что введение в состав полимеров остатков холестерина позволит получить наносистемы с повышенной клеточной проницаемостью (за счет липопротеинов или альбумина в следствие эндоцитоза), биосовместимостью и проявляющие, таким образом, биомиметические свойства.

В настоящей работе предложен синтез и исследование новых перспективных наноносителей на основе амфифильных холестеринсодержащих сополимеров. С помощью контролируемой радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи (RAFT-полимеризации) была синтезирована серия новых статистических сополимеров N-винилсукцинимида и холестерил (мет)акрилата в широком диапазоне составов. Для получения амфифильных сополимеров проводили щелочной гидролиз звеньев ВСИ сополимеров ВСИ-*co*-X(M)AK в мягких условиях. В результате были получены амфифильные сополимеры, несущие звенья N-виниламидоянтарной кислоты (ВАЯК) и холестерил(мет)акрилата. Синтезированные сополимеры были всесторонне охарактеризованы с использованием комплекса физико-химических методов, а именно гель-проникающей хроматографии, ЯМР-спектроскопия и ТГА.

Получение наночастиц (НЧ) из поли(ВАЯК-*co*-X(M)AK) осуществляли методом инверсии фаз из органического растворителя в воду с последующей лиофилизацией и окончательным диспергированием с помощью зонда в выбранном буфере. Размер, дзета-потенциал и морфологию полимерных частиц определяли методами ДЛС и ПЭМ. Цитотоксичность НЧ оценивали с помощью МТТ-теста. Разработанные системы также были изучены в качестве системы доставки лекарств: получены инкасулированные формы НЧ с загруженным цитостатическим веществом (паклитаксел или иринотекан) и оценена эффективность инкапсулирования.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №21-73-20104).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТАКСИФОЛИН-СОДЕРЖАЩИХ КОЛЛАГЕН-АКРИЛОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Лунева О.В., Быкова К., Кашурин А.И., Успенская М.В.

Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург  
ovlunevaitmo@gmail.com

Гидрогелевые материалы широко применяются в качестве раневых покрытий, так как имеют ряд преимуществ в сравнении с традиционными повязками - высокая газовая проницаемость, биосовместимость, способность сохранять влажную среду для заживления ран [1]. Помимо этого подобные повязки ускоряют заживлению ран, поглощают и удерживают раневой экссудат [2].

Гидрогели представляют собой гидрофильные трехмерные сетки, образованные посредством химических и/или физических связей. Сетчатая структура гидрогелей является матрицей для биоактивных молекул, обеспечивающая транспорт лекарственного препарата в центр раны при контакте покрытия с поврежденным участком кожи [3]. Примером биоактивных молекул, обладающих свойствами широкого спектра действия является Таксифолин, (дегидроокверцитин), входящий в группу флавоноидов, обладает антибактериальной активностью широкого спектра, сохраняя эффективность даже для антибиотикорезистентных бактерий [4,5].

Именно поэтому целью настоящей работы являлся синтез и исследование свойств гидрогелей на основе акриловой кислоты, акриламида и коллагена с добавлением таксифолина (концентрацией таксифолина 0,5 % и 3% к массе полимерной смеси), полученных методом свободно-радикальной полимеризации в водной-спиртовой среде. В качестве иницирующей системы использовали окислитель — пероксидисульфат аммония и восстановитель - N,N,N',N'-тетраметилэтилендиамин. В качестве сшивающего агента был использован, N, N-метилбисакриламид.

Исследована зависимость времени начала гелеобразования от рецептурных параметров. Изучены сорбционные характеристики коллаген-акриловых композитов в буферных растворах (pH=5.8 pH=7.2, pH=7.9) при температуре 25 °C. Процесс сорбции растворителя в полимерную сетку описывается аномальной диффузией Фика. Изучен релиз лекарственного препарата полученных образцов на основе моделей Корсмейера-Пеппаса, Хигучи, Бейкера-Лонсдейла и Хиксон-Кроуэлла. Кумулятивный релиз таксифолина из полимерной матрицы демонстрирует, что релиз таксифолина проходит в две стадии, минуя стадию быстрого высвобождения. Первая стадия коррелирует с постепенным высвобождением таксифолина из матрицы гидрогеля в течение 2000 минут. Вторая стадия соответствовала пролонгируемому высвобождению таксифолина (от 2000 до 3000 минут).

### Список литературы:

[1] Tavakoli S., Klar A.S. *Biomolecules*. **10** (8), 1169 (2020). [2] Op't Veld R. C. et al. *Tissue Engineering Part B: Reviews*. **26** (3), 230 (2020). [3] Yang K. et al. *International journal of nanomedicine*. **13**, 2217 (2017). [4] Morris M.E., Zhang S. *Life sciences*. **78** (18), 2116 (2006). [5] Das A. et al. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. **142**, 112004 (2021).

## 4-P-18

# МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИНТЕРКАЛИРОВАННЫМИ АТОМАМИ ЕВРОПИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ЗОНДОВ

Масгутов И.И.<sup>1</sup>, Попова Е.А.<sup>1,2</sup>, Исаев А.В.<sup>2,3</sup>, Байрамуков В.Ю.<sup>3</sup>, Еремин А.В.<sup>1</sup>

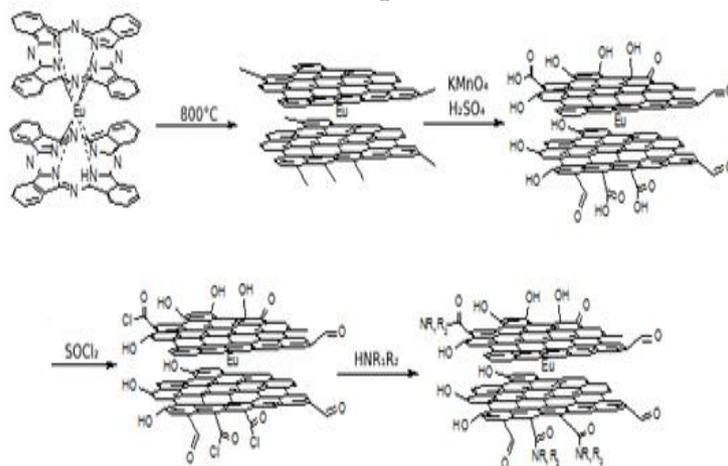
<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Петербургский институт ядерной физики национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ПИЯФ), г. Гатчина  
yaiskandar21@mail.ru

Химия и физика соединений и материалов на основе углерода интенсивно развивается с момента синтеза и открытия фуллереноподобных структур, нанотрубок, и, относительно недавно - графеновых материалов. В настоящее время отдельным направлением исследований каркасных углеродных соединений является изучение структур, включающих атомы металлов, однако подобные соединения редки и часто труднодоступны из-за сложного синтеза.

В настоящей работе были исследованы графеноподобные материалы, полученные при пиролизе фталлоцианинов редкоземельных элементов, и некоторые пути их модификации. Полученные европий(III)-содержащие металл-углеродные структуры являются доменами турбостратного углерода, допированного азотом (до 14% масс), в составе которых атомы металлов связаны прочными М-С связями. Подобное строение дает возможность химической модификации поверхности полученных материалов по аналогии с графеном. Модифицированные материалы, обладающие высокой флуоресценцией, могут быть использованы, например, в биологии - в виде квантовых точек для биовизуализации или определения патологических состояний и/или для модификации биосовместимых полимеров.



Методами конфокальной микроскопии наблюдалось активное проникновение флуоресцирующих европийсодержащих углеродных частиц, модифицированных присоединением дисульфида (Na<sub>2</sub>GSSG) биогенного биологически активного трипептида –  $\gamma$ -L-глутамил-L-цистеиноглицина (GSH, глутатиона) в клетки HeLa.

**БИОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
И ИХ ЦИТОСОВМЕСТИМОСТЬ**

Мишанин А.И.<sup>1</sup>, Петрова В.А.<sup>2</sup>, Хрипунов А.К.<sup>2</sup>, Головкин А.С.<sup>1</sup>, Гофман И.В.<sup>2</sup>, Романов Д.П.<sup>3</sup>, Архарова Н.А.<sup>4</sup>, Клечковская В.В.<sup>4</sup>, Скорик Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ им. В.А. Алмазова, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>4</sup>Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, ФНИЦ

«Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва

*mishaninssma@yandex.ru*

Бактериальная целлюлоза (БЦ) обладает высокой водоудерживающей способностью, нетоксичностью, имеет отличные механические свойства и является перспективным материалом для получения биокomпозитов [1]. БЦ обладает высокой биосовместимостью благодаря своему структурному сходству с компонентами внеклеточного матрикса (например, коллагеном) и подвергается сложным взаимодействиям с биологическими тканями. Влияние морфологии БЦ на клеточную пролиферацию было изучено в ряде исследований [2,3]. Композиты на основе БЦ получают с использованием различных методов введения и фиксации сопутствующих биополимеров в ее структуре (например, адсорбция полимера, мокрое формование, диспергированной в растворах полимеров БЦ, биогенез БЦ в присутствии полимеров или комбинации этих методов). Цель настоящей работы — получение биокomпозитов на основе БЦ (*Comagataeibacter ghaeticus*), путем ее последовательной пропитки растворами отрицательно заряженных полисахаридов — гиалуроновой кислоты (ГК), альгината натрия (АЛГ) или к-каррагинана (КАР) - и положительно заряженного хитозана (ХЗ) и изучение их цитосовместимости. Структура, морфология и свойства биокomпозитов зависели от типа импрегнированных анионных полисахаридов, которые, в свою очередь, определяли характер взаимодействия с хитозаном. Пористость и степень набухания композитов увеличивались в ряду: БЦ–АЛГ–ХЗ > БЦ–ГА–ХЗ > БЦ–КАР–ХЗ. Биосовместимость композитов с мезенхимальными стволовыми клетками была выше по сравнению с исходным образцом БЦ, при этом наилучшей цитосовместимостью обладал композит БЦ–АЛГ–ХЗ.

**Список литературы:**

[1] *Huang J., Dufresne A., Lin N.* Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Materials. Weinheim, Wiley-VCH, 2019.

[2] *Rajwade J. M., Paknikar K.M., Kumbhar J.V.* Appl. Microbiol. Biotechnol. **99**, 2491 (2015).

[3] *Martinez Avila H., Schwarz S., Feldmann E.M., Mantas A., von Bomhard A., Gatenholm P., Rotter N.* Appl. Microbiol. Biotechnol. **98**, 7423 (2014).

**Благодарности**

Работа поддержана грантом РФФ № 22-13-00068.

#### 4-P-20

### ГРАНУЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТНО ИМПРИНТИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРЫ С АФФИННЫМ СРОДСТВОМ К МОЛЕКУЛАМ ГЛЮКОЗЫ

Морозова П.Ю., Осипенко А.А., Панюта А.С. Гаркушина И.С.

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
irin-g16@yandex.ru*

Актуальной задачей медицинского материаловедения является разработка гемосорбентов, способных высокоселективно поглощать глюкозу из плазмы крови и выводить ее из организма человека при лечении сахарного диабета II типа.

Способность борной кислоты образовывать боратные комплексы с полигидроксилсодержащими соединениями можно использовать для создания в полимерной матрице сайтов связывания, обладающих аффинным сродством к соединениям такого типа, например, к глюкозе. Были синтезированы методом эмульсионной полимеризации в эмульсиях Пикеринга в присутствии наночастиц Se гранульные сорбенты на основе 2-гидроксиэтилметакрилата (ГЭМА) и этиленгликоль диметакрилата (ДМЭГ) с введением 4 мол%, 6 мол% и 8 мол% борной кислоты (БК). Общая концентрация мономеров в полимеризационной смеси составляла 30 мас%, соотношение ГЭМА и ЭГДМА – 86 мол% и 14 мол%, соответственно. Было показано, что введение 4 мол% и 6 мол% БК практически не влияло на выход сополимера. В то время как введение 8 мол% приводило к значительному увеличению выхода. При этом, в ряду аффинных сорбентов с увеличением концентрации БК в полимеризационной смеси выход сорбентов увеличивался. Кроме того, было показано снижение пористости в ряду увеличения количества БК, введенной при синтезе.

Исследование влияния количества введенной БК на кинетику связывания глюкозы с амфифильными сорбентами на основе ГЭМА и ЭГДМА показало, что с введением БК при синтезе в полимеризационную смесь сорбционная емкость аффинных сорбентов возрастала. С другой стороны, увеличение времени необходимого для полного насыщения сорбционных центров с ростом количества БК, введенной при синтезе, указывает на ухудшение диффузии молекул глюкозы к труднодоступным сорбционным центрам.

Анализ характера лимитирования диффузии молекул глюкозы синтезированными полимерами был осуществлен посредством диффузионной модели Бойда. Было показано, что кинетика сорбции глюкозы синтезированными полимерами лимитируется смешанно-диффузионным механизмом с преобладанием внешней диффузии.

Таким образом, введение лиганда – борной кислоты, способствует улучшению сорбционных свойств синтезированных полимеров по отношению к глюкозе.

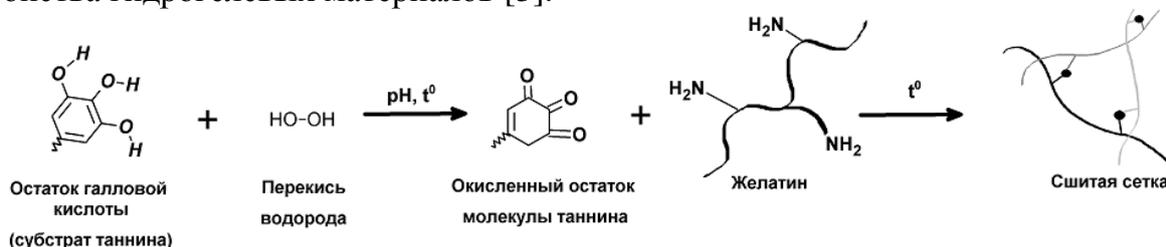
## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РАНЕВЫХ ПОВЯЗОК – ЖЕЛАТИН/ТАННИНОВЫЕ ГИДРОГЕЛИ

Осетров К.О., Успенская М.В.

*Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург  
ko\_osetrov@itmo.ru*

Сегодня желатин-таннинные гидрогели активно исследуются для прикладного применения в области биоматериалов. Таннин обеспечивает сильное антибактериальное действие таких материалов [1] к довольно широкому спектру бактериальных культур. Желатин является главным компонентом, создающим основу для полимерной сетчатой структуры, мимикрирующей под внеклеточный матрикс [2], что позволяет обеспечить биосовместимость с тканями человека. После соответствующего окисления сшивающий агент (таннин) приобретает способность к образованию связей с желатином, приводящим к формированию полимерной сетки (рисунок). Достаточно простая технология синтеза и легко контролируемые свойства образующихся гидрогелей обеспечивают им потенциал для дальнейших разработок в сфере медицинского материаловедения.

Текущий доклад обобщает собственные исследования в области желатин-таннинных гидрогелей. Ранее были изучены влияние типа и соотношения окислительной системы (на основе  $H_2O_2$ /ДМСО/ $KMnO_4$ / $KIO_4$ ), технологических параметров (рН/температура), дополнительной сшивки железом ( $0.005 \div 0.007$  моль  $FeCl_3$ /г мономера) и других факторов на физико-химические и эксплуатационные свойства гидрогелевых материалов [3].



Исследование ориентировано на рассмотрение сорбционного поведения, кислородо/паропроницаемости ( $1550 \div 1850$  г/[м<sup>2</sup>·ч]), физико-механических ( $\sigma = 30 \div 70$  кПа;  $\varepsilon = 150 \div 300$  %) и термических свойств в зависимости от вышеуказанных факторов. Показано влияние параметров на структуру и свойства композиций. Продемонстрирована возможность создания высокоэффективных на основы для раневых повязок на базе желатин-таннинных гидрогелей.

### Список литературы:

- [1] *Kaczmarek B. Materials (Basel) 13 (14), 3224 (2020).*  
 [2] *Tytgat L., Markovic M., Qazi T.H., Vagenende M., Bray F., Martins J.C., Rolando C., Thienpont H., Ottevaere H., Ovsianikov A. J. Mater. Chem. B 7, 3100–3108 (2019).*  
 [3] *Osetrov K., Uspenskaya M., Sitnikova V. Polymers (Basel) 14 (1), 150 (2022).*

## НОВЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ (3-(ИЗОБУТИЛАМИНО)ХОЛ-24-АНОВАЯ КИСЛОТА) ДЛЯ СОЗДАНИЯ pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МУЛЬТИЛИПОСОМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Попов А.С., Ефимова А.А., Ярославов А.А., Лукашов Н.В., Казанцев А.В.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, г. Москва.  
tosh.popov@yandex.ru*

В настоящее время для борьбы с тяжелыми заболеваниями, в том числе онкологическими и инфекционными, активно разрабатываются стимул-чувствительные липосомальные контейнеры, способные к высвобождению инкапсулированных веществ в ответ на изменение внешних условий. Наибольшее распространение получили pH-чувствительные липосомы, для создания которых в липидный бислой встраивают «молекулярные переключатели» – липидоподобные вещества, способные изменять конформацию цепей или ориентацию под действием pH. Получение липосом, способных быстро высвобождать большую часть инкапсулированного вещества, остается актуальной задачей.

В данной работе в качестве молекулярных pH-чувствительных переключателей использованы производные литохолевой кислоты (ЛК), содержащие карбоксильные анионные и различные катионные группы, прикрепленные к противоположным концам стероидного ядра. Проведена оценка скорости высвобождения инкапсулированного вещества из липосом, содержащих разные переключатели; исследована цитотоксичность липосом.

Показано, что наиболее перспективным производным ЛК является 3-(изобутиламино)хол-24-ановая кислота, так как липосомы, содержащие такой переключатель, способны высвобождать до 95% содержимого уже в первую минуту при переносе в среду с pH 6,5 и ниже, демонстрируя при этом низкую цитотоксичность и высокую агрегативную стабильность.

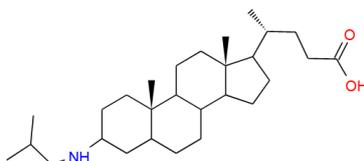


Рис.1 – 3-(изобутиламино)хол-24-ановая кислота.

Для повышения эффективности доставки и увеличения терапевтического эффекта липосомы с переключателем сконцентрированы на поверхности биodeградируемых катионных наночастиц полисахарида хитозана; подобраны условия, при которых наблюдается максимальная скорость высвобождения инкапсулированного вещества из мультлипосомального комплекса.

Липосомы и мультлипосомальные конструкции, содержащие 3-(изобутиламино)хол-24-ановую кислоту, в перспективе могут применяться в биомедицине для инкапсулирования и доставки биологически активных соединений.

## 4-P-23

# ИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В РАСТВОРАХ АЛЬБУМИНА ЧЕЛОВЕКА

Сальникова Ж.А.<sup>1</sup>, Кононов А.А.<sup>1</sup>, Кастро Р.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена,  
факультет физики, г. Санкт-Петербург  
jannete90@mail.ru

В настоящее время для исследования электрофизических свойств биологических систем широко используется метод диэлектрической спектроскопии [1]. В данной работе представлены результаты исследования процессов переноса заряда в водном растворе альбумина человека (20%), содержащем также ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  (3 гр/л). Измерения проводимости проводились с помощью диэлектрического спектрометра Concept-81 (Novocontrol Technologies GmbH) в диапазоне частот  $f = 1 - 5 \cdot 10^6$  Гц и температур  $T = 306 - 315$  К.

Найдена степенная зависимость электропроводности от частоты (Рис. 1), которая практически не зависит от температуры. Перенос заряда в данном растворе обусловлен движением ионов. Полученные результаты объясняются в рамках модели ионного механизма электропроводности Френкеля следующим образом]. Имеющиеся в растворе альбумина ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  прилипают к молекулам воды и образуют с ними единое целое. Вследствие теплового движения ионы периодически отрываются от молекул воды, тратя энергию на преодоление сил сцепления, т.е. на активацию ( $E_a$ ). После отрыва от молекулы ион, как свободная частица проходит некоторый путь длиной порядка размеров молекулы воды и прилипает к новой молекуле. В процессе движения ионы также сталкиваются с молекулами альбуминов, что усложняет описание их движений. Средняя длина свободного пробега иона зависит от его типа ( $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ) и межмолекулярного взаимодействия в исследуемом растворе. Электропроводность  $\sigma'$ , представленная на Рис.2 зависит от температуры  $T$  следующим образом [2]:

$$\sigma'(T) = A \exp\left(\frac{-E_a}{kT}\right)$$

Рассчитанная энергия активации процесса электропроводности  $E_a = 0.38 \pm 0.03$  эВ.

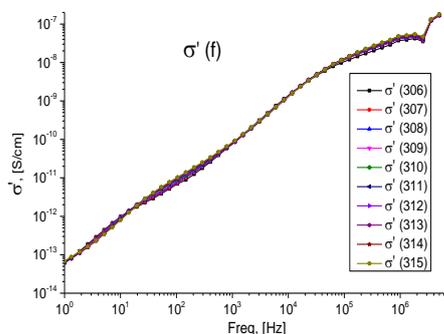


Рис. 1. – Частотная зависимость электропроводности при  $T = 306 - 315$  К.

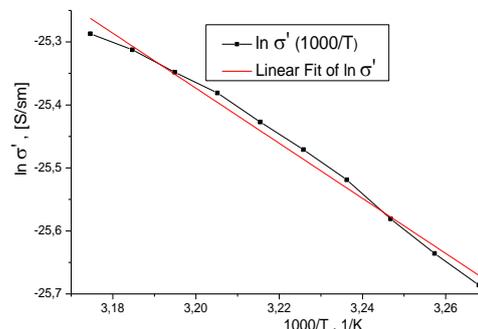


Рис. 2. – Температурная зависимость электропроводности на частоте  $f = 100$  Гц.

### Список литературы:

- [1] ed. Raicu V, and Feldman Y. Oxford, Scholarship (2015).  
[2] Адамчевский И. Л.: Энергия (1972)

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-ε-КАПРОЛАКТОНА НА АДСОРБЦИЮ АРГИНИНА

Середкина П.М.<sup>1,2</sup>, Чабина А.С.<sup>1</sup>, Нащекин А.В.<sup>3</sup>, Лихачев А.И.<sup>3</sup>, Нащекина Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт цитологии РАН, 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, г. Санкт-Петербург  
seredinapl@mail.ru*

Поли-ε-капролактон (ПКЛ) широко используется в тканевой инженерии в качестве каркасного носителя для тканеинженерных конструкций, содержащих клеточную культуру [1]. ПКЛ относится к полукристаллическим полиэфирам и при кристаллизации образует сферолиты. Изменение условий формирования матриц позволяет получать различную структуру поверхности [2]. Материалы, входящие в состав тканеинженерных конструкций, должны способствовать адгезии и пролиферации клеток [1]. ПКЛ – гидрофобный материал, не имеющий поверхностного заряда, что приводит к необходимости модификации его поверхности, поэтому была проведена модификация ПКЛ аминокислотой аргинином, обладающим двумя аминогруппами, одна из которых связывается с ПКЛ, а вторая придает положительный заряд и гидрофильность поверхности [2]. Целью данной работы стало изучение влияния структуры поверхности, а следовательно, и условий формирования матриц на адсорбцию аргинина. Для получения матриц с различной структурой поверхности изменяли условия их формирования, а именно, концентрацию ПКЛ в хлороформе (0,02 г/мл и 0,06 г/мл), объем раствора полимера наносимого на единицу площади (20 мкл/см<sup>2</sup>, 50 мкл/см<sup>2</sup>, 75 мкл/см<sup>2</sup>) и температуру испарения растворителя (+4°C и +37°C). Структуру поверхности ПКЛ матриц анализировали в поляризованном свете. Было выявлено, что наибольшую разницу в размерах сферолитов наблюдали при варьировании температуры испарения растворителя (4°C - сферолиты с наименьшим диаметром, 37°C - с наибольшим). Матрицы с различной структурой поверхности модифицировали 0,5М водным и 0,25М водно-спиртовым растворами аргинина. Для количественной оценки сорбции аргинина на ПКЛ матрицы была использована нингидриновая реакция. Наибольшее количество аминокислоты было обнаружено на матрицах, сформированных при температуре +4°C и на матрицах с концентрацией 0,06 г/мл ПКЛ в хлороформе, обработанных 0,5 М раствором аргинина в течение 1 часа. При обработке матриц в течение 1 суток наибольшая адсорбционная способность также зафиксирована для матриц, обладающих сферолитами меньшего диаметра, обработанных 0,5 М раствором аргинина. Таким образом, можно сделать вывод, что способ формирования матриц, особенно снижение температуры, положительно влияет на адсорбцию аргинина.

### Список литературы:

- [1] *Yedekçi B., Tezcaner A., Yilmaz B., Demir T., Evis Z.* Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. **125**, 104941 (2022).  
[2] *Nashchekina Y., Chabina A., Nashchekin A., Mikhailova N.* Polymers. **5**, 12 (2020).

**4-P-25**  
**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ**  
**МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОНДУИТОВ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ**  
**ПЕРЕФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ**

Тагандурдыева Н.А.<sup>1</sup>, Дресвянина Е.Н.<sup>1</sup>, Добровольская И.П.<sup>1,2</sup>,  
Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
jemala1996@gmail.com*

В современной нейрохирургии поврежденные периферические нервы восстанавливают с помощью хирургического вмешательства без применения имплантатов или трансплантатов при травмировании нерва (диастазе) не более 3 см. Однако, при диастазе более 3 см, прямое наложение швов без применения имплантатов или трансплантатов невозможно из-за возникающего натяжения, отрицательно влияющего на регенерацию нерва и/или недостатка нервного материала. Применение полых кондуитов без модификаторов при дефектах более 3 см затруднительно в связи с увеличением по мере роста аксонов их дезорганизации. Поэтому целью исследования является получение и исследование трубчатых кондуитов, модифицированных волокнистыми наполнителями, ориентированными вдоль направления роста аксонов для восстановления нерва размером более 3 см.

Трубчатая матрица на основе поли(L-лактида) получена методом электроформования; наполнители на основе хитозана в виде поли- (PChs) и моно- (MChs) волокон, наполненных наночастицами хитина (Chs-ChNF), получены методом мокрого формования.

При изучении восстановления двигательной активности и нервно-мышечных функций, измерений амплитуды М-ответа, а также при оценке SFI установлено, что с увеличением содержания наночастиц хитина в хитозановых волокнах, увеличивается степень регенерации нерва и, как следствие, степень восстановления двигательной активности животных.

Полного восстановления, как при использовании аутоневральной вставки, так и при имплантировании полых трубчатых кондуитов и кондуитов с наполнителями не наблюдали (в сравнении с интактной конечностью). Однако, степень восстановления функционирования конечности при применении полых кондуитов в сравнении с наполненными значительно ниже, что подтверждает способность наполнителей влиять на скорость, количество и направление роста аксонов, что связано с тем, что наполнители имитируют ориентированную архитектуру нерва, усиливают топографические сигналы, что в совокупности обеспечивают идеальную среду для роста клеток и регенерации аксонов.

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-73-30003.*

#### 4-P-26

### СИСТЕМА АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ДОКСОРУБИЦИНА НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ

Трушина Д.Б.<sup>1,2</sup>, Сапач А.Ю.<sup>2,3</sup>, Бурачевская О.А.<sup>4</sup>, Паллаева Т.Н.<sup>1</sup>, Солдатов М.В.<sup>4</sup>,  
Бутова В.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, г. Москва

<sup>2</sup> ПМГМУ им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения России  
(Сеченовский университет), г. Москва

<sup>3</sup>Сколковский институт науки и технологий, г. Москва

<sup>4</sup>Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов  
Южного федерального университета, г. Ростов-на-дону  
*trushina.d@mail.ru*

Металл-органические каркасные полимеры (МОКП) имеют большой потенциал для биомедицинских применений благодаря уникальной пористости наночастиц, которая позволяет достигать высоких показателей загрузки целевыми диагностическими и терапевтическими соединениями. Для увеличения функциональности МОКП со структурой типа UiO-66 методом адсорбции из раствора сформированы оболочки из альгината, таниновой кислоты, поливинилпирролидона, плуроника F127, а также с помощью силанизации поверхности МОКП были получены наночастицы ядро-оболочка UiO-66@SiO<sub>2</sub>. Изучено влияние полученных оболочек на распределение наночастиц по размерам, их дзета-потенциалы и агрегативную устойчивость в модельных биологических средах. На основании анализа данных были выбраны наночастицы ядро-оболочка UiO-66@SiO<sub>2</sub>, которые использовали в качестве контейнеров для внутриклеточной доставки доксорубицина. Было показано, что кремниевая оболочка позволяет значительно уменьшить спонтанное высвобождение низкомолекулярного противоопухолевого антибиотика. Поверхность контейнеров с доксорубицином модифицировали конъюгатом плуроника с фолиевой кислотой (F127-FA) для обеспечения адресности к целевым клеткам. Изучено взаимодействие разработанных адресных контейнеров с клетками MCF-7, мембраны которых сверхэкспрессируют рецепторы фолиевой кислоты, а также с макрофагами без сверхэкспрессии рецепторов. Исследования интернализации показали, что UiO-66@SiO<sub>2</sub>@F127-FA интернализируются клетками MCF-7 рецепторо-опосредованным образом. Тесты на цитотоксичность продемонстрировали отсроченное наступление эффекта от доксорубицина при доставке в составе контейнеров на клетках MCF-7 *in vitro*. В результате исследования показано, что двухкомпонентная оболочка из SiO<sub>2</sub> и конъюгата с фолиевой кислотой обеспечила значительное ингибирующее действие доксорубицина на раковые клетки.

#### Список литературы:

[1] Trushina D.B., Sapach A.Y., Burachevskaya O.A., Medvedev P.V., Khmelenin D.N., Borodina T.N., Soldatov M.A., Butova V.V. *Pharmaceutics*. **14** (7), 1325 (2022).

#### Благодарности

Работы проведены при поддержке гранта РФФИ № 21-74-10058.

## ХИРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ ХИТОЗАНА С L- И D-АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Ушакова О.С., Гегель Н.О., Шиповская А.Б.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов*  
*olgakol4ina777@yandex.ru*

Ранее нами показано, что солевые комплексы хитозана (CS) с диастереомерами *L*- и *D*-аскорбиновой кислоты (AscA) значительно различаются хирооптическими характеристиками и биологической функциональностью [1, 2]. При этом наибольшей биологической активностью обладают соли CS с биологически неактивной *D*-AscA. В продолжение данных исследований в настоящей работе изучена дисперсия эллиптичности и оптического вращения солевых комплексов CS со стереомерами *L*- и *D*-аспарагиновой кислоты (AspA). Оценены также особенности надмолекулярного упорядочения солей CS·*L*-AspA и CS·*D*-AspA в растворе и их антибактериальная активность.

Установлено, что *L*-AspA имеет более высокую реакционную способность с CS при солеобразовании, чем *D*-AspA. Водные растворы солей CS с *L*- и *D*-аспарагинат-анионом в УФ-области характеризуются эффектом Коттона вследствие формирования аминокаспарагинатного хромофора. При этом реализуются близкие по модулю, но противоположные по знаку (+, –) значения молярной эллиптичности  $[\theta]$ . В видимой области спектра растворы CS·*L*-AspA и CS·*D*-AspA показывают плавные кривые дисперсии оптической активности, левое вращение и существенно различаются модулем удельного оптического вращения  $[\alpha]$ . Во всех случаях реализуемые значения  $[\theta]$  и  $[\alpha]$  определяются молярным соотношением полимер/кислота. Экстракционная кристаллизация с использованием спиртового раствора *L*-ментола показала влияние стереоизомера AspA на скорость фазового разделения хиральной модельной системы в водных растворах CS·*L*-(*D*-)AspA и размер формирующихся фазовых агрегатов: более крупные частицы агрегированных кристаллов *L*-ментола образуются в среде CS·*D*-AspA. В совокупности полученные результаты указывают на существенные различия в пространственной организации стереомернообогащенных солевых комплексов CS с *L*- и *D*-AspA.

В опытах *in vitro* выявлено различие в характере воздействия хиральных полисолей хитозана на эукариотические и прокариотические клетки в зависимости от их хирооптических характеристик. Показано, что соли CS·*D*-AspA проявляют более высокую антибактериальную активность как в отношении грамположительных, так и грамотрицательных патогенных и условно-патогенных бактерий.

### Список литературы:

[1] Gegel N.O., Zhuravleva Yu.Yu., Shipovskaya A.B., Malinkina O.N., Zudina I.V. *Polymers*. **10** (3), Article 259 (2018).

[2] Шиповская А.Б., Малинкина О.Н., Гегель Н.О., Зудина И.В., Луговицкая Т.Н. *Изв. Академ. наук. Сер. Хим.* **9**, 1765 (2021).

### Благодарности

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-00320.*

## СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ИНАКТИВАЦИИ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

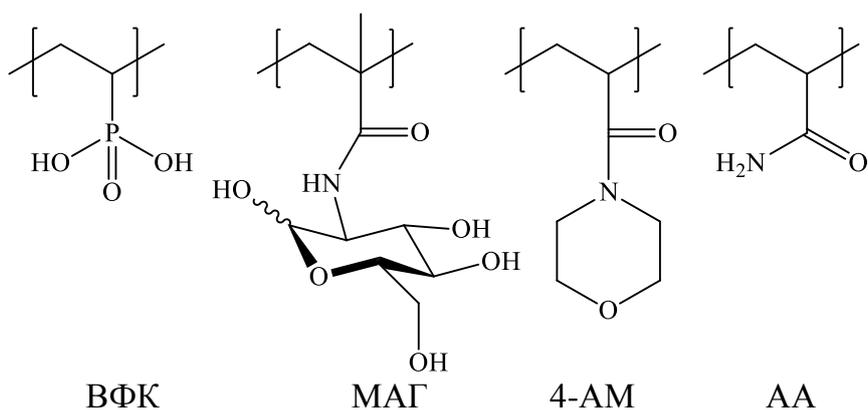
Чеснокова Е.Б.<sup>1</sup>, Зарубаев В.В.<sup>2</sup>, Бучков Е.В.<sup>3</sup>, Назарова О.В.<sup>1</sup>, Золотова Ю.И.<sup>1</sup>,  
Панарин Е.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург

Целью исследования был синтез новых синтетических полимеров на основе винилфосфоновой кислоты (ВФК) и оценка их противовирусной активности в отношении вируса гриппа в экспериментах на клеточной культуре и на модели гриппозной пневмонии у лабораторных животных. Гомополимер ВФК и сополимеры с 2-деокси-2-метакриламида-*D*-глюкозой (МАГ), 4-акрилоилморфолином (4-АМ), акриламидом (АА) получали методом свободно-радикальной (со)полимеризации



Показано, что оптимальными противовирусными характеристиками обладает сополимер ВФК с 4-АМ в соотношении 56: 44 мол.% молекулярной массой 33000. Полимер обладает низкой цитотоксичностью, проявляет вирусингибирующие свойства с  $IC_{50} = 1$  мкг/мл и индексом селективности 302. Профилактическое интраназальное применение полимера на модели гриппозной пневмонии у мышей полностью предотвращает специфическую смертность при гибели 90 % животных в группе плацебо. Ранее проведенные исследования свидетельствуют также о способности фосфорсодержащих полимеров к активации неспецифической противовирусной защиты организма, что может обуславливать комплексный механизм борьбы с гриппозной инфекцией при использовании полимеров изученного состава. Полученные результаты свидетельствуют о высоком противовирусном потенциале полимерных соединений на основе винилфосфоновой кислоты.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2020-794).

**СЕКЦИЯ 5**

***ТЕОРИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

# АДСОРБЦИЯ СЛУЧАЙНОГО СОПОЛИМЕРА НА НЕОДНОРОДНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В РАМКАХ «МИНИМАЛЬНОЙ» МОДЕЛИ

Иванова А.С., Полоцкий А.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
sasinaas@yandex.ru*

Адсорбция полимерных цепей на поверхностях и границах раздела фаз – явление, играющее важную роль в науке о полимерах, коллоидной химии, физикохимии поверхности, хроматографии и т.д. Случай, когда и полимер, и поверхность неоднородны по химическому составу, наиболее сложен интересен из-за необходимости учитывать корреляции между распределениями мономерных звеньев в последовательности гетерополимера и сайтов на неоднородной поверхности. Это тесно связано с проблемой молекулярного узнавания, играющем центральную роль в молекулярной биологии и при создании биомиметических и «умных» полимерных систем.

В настоящей работе теоретически исследована адсорбция одиночной цепи случайного сополимера  $AB$  на неоднородной поверхности  $ab$  с регулярным периодическим распределением неоднородностей [1]. Задача рассматривалась в рамках модели частично направленного случайного блуждания в двух измерениях, которая является наиболее простой, или «минимальной», моделью для изучения этого явления. Для вычисления статсуммы цепи использовался метод производящих функций, усреднение по ансамблю случайных последовательностей мономерных звеньев в сополимере выполнялось в рамках приближения «размороженного» беспорядка. Показано существование «оптимального» состава сополимера и степени корреляции в последовательности звеньев, при которых обратная температура, отвечающая точке адсорбционного перехода, имеет локальный минимум. Это характерно для симметричных и слабо асимметричных по составу поверхностей, тогда как для поверхностей с ярко выраженной асимметрией такого локального минимума нет. Наилучшим адсорбатом для сильно асимметричной поверхности является гомополимер, состоящий из мономерных звеньев, комплементарных большинству участков на поверхности. Результаты для точки перехода адсорбции, полученные в приближении «размороженного» беспорядка, сравнивались с численными результатами для случайно-периодических  $AB$ -сополимеров с длинным периодом, представляющим собой фиксированную («замороженную») случайную последовательность звеньев  $A$  и  $B$ . Сравнение показало, что приближение размороженного дает практически точную количественную оценку точки адсорбционного перехода.

## **Список литературы:**

[1] *Ivanova A.S., Polotsky A.A. Phys. Rev. E* **106**, 034501 (2022).

## **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 22-23-00531.*

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕРАЦИЙ И СТРОЕНИЯ В ПЛОСКИХ ЩЕЛЯХ

Литвин К.А.<sup>1</sup>, Курбатов А.О.<sup>1,2</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

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

<sup>3</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва

litvin@polly.phys.msu.ru

Карбосилановые дендримеры благодаря отсутствию специфических взаимодействий являются идеальными объектами для изучения влияния сверхразветвленной регулярной структуры на поведение макромолекул. Для улучшения понимания влияния внешнего воздействия на внутреннюю структуру дендримеров, а также для определения специфических границ, в которых дендримеры способны изменять свою форму без потери энергии, было проведено компьютерное моделирование одиночных карбосилановых дендримеров, помещенных в плоские щели различных размеров. Были исследованы два гомологических ряда с четырехфункциональным ядром и трех- (Рис. 1(а)) и четырехфункциональными (Рис. 1(б)) точками ветвления в широком диапазоне генераций. Были построены зависимости энергии взаимодействия со стенками, изменения формы, профилей плотности и некоторых других характеристик. Была оценена скорость распространения возмущения в дендримерах данного типа. Изучен характер упругого отклика и проведен сравнительный анализ различных генераций и гомологических рядов.

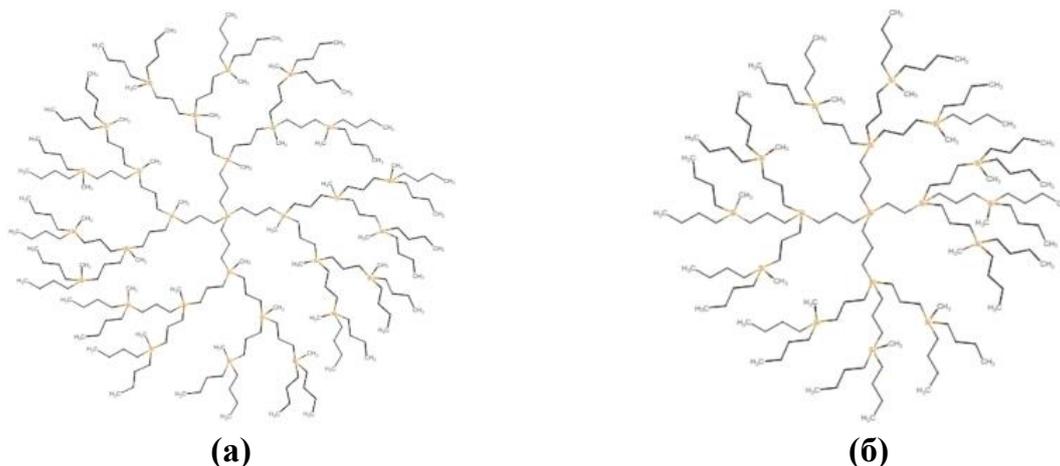


Рис. 1 – Схематическое изображение исследованных дендримеров с (а) трех- и (б) четырехфункциональными точками ветвления.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-30030) с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ ПОЛИЭФИРИМИДА ВРДА-РЗ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА

Добровский А.Ю.<sup>1</sup>, Назарычев В.М.<sup>1</sup>, Волгин И.В.<sup>1</sup>, Люлин С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
aleksey\_dobrovsky@mail.ru*

Структурное упорядочение полимерных цепей друг относительно друга может приводить к изменению различных свойств полимеров, в том числе, транспортных свойств. Исследование процессов, происходящих при упорядочении, является необходимым для создания материалов с контролируемыми свойствами.

В данной работе было проведено исследование транспортных свойств перспективного кристаллизующегося полиэфиримида (ПЭИ) ВРДА-РЗ в аморфном и упорядоченном состояниях с помощью компьютерного моделирования методом молекулярной динамики с использованием полноатомных моделей. Химическая структура повторяющегося звена ВРДА-РЗ состоит из диаминного (на основе 1,4-бис[4-(4-аминофенокси)феноксibenзола (РЗ)) и диангидридного (на основе 3,3',4,4'-бифенилтетракарбоновой кислоты (ВРДА)) фрагментов.

В рамках исследования было выполнено длительное 31-микросекундное моделирование ВРДА-РЗ при температуре 600 К ( $T_{пл}^{эксп} \approx 577$  К). Из анализа временной зависимости параметра порядка  $S_{or}$  установлено, что в процессе моделирования наблюдается переход ПЭИ из аморфного состояния в упорядоченное. Полученные системы, соответствующие аморфному и упорядоченному состояниям, были охлаждены до температур ниже температуры стеклования ( $T_{ст}^{эксп} \approx 481$  К) для расчета транспортных свойств в стеклообразном состоянии в широком диапазоне температур (от 480 до 300 К). Обнаружено уменьшение растворимости молекул газов  $CO_2$  и  $CH_4$ , вызванное структурным упорядочением полимерных цепей. Установлено, что в процессе упорядочения происходит перераспределение элементов свободного объема: увеличивается количество полостей свободного объема меньшего размера при общем уменьшении доли свободного объема в полимере. Из анализа коэффициентов диффузии установлено, что средние значения коэффициентов диффузии в аморфном и упорядоченном состояниях не отличаются друг от друга, при этом в упорядоченном состоянии наблюдается анизотропия диффузии газов. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что проницаемость в рассматриваемой системе в большей степени определяется растворимостью газов, а не диффузией.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (соглашение № 22-13-00066).*

**БИСТАБИЛЬНАЯ ДИНАМИКА ДУФФИНГА В ОЛИГОМЕРАХ  
ПИРИДИН-ФУРАНА**

Фролкина М.А.<sup>1</sup>, Петровский В.С.<sup>1</sup>, Маркина А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральный Исследовательский Центр Химической Физики им. Н.Н. Семёнова  
Российской Академии Наук, Москва, Россия  
mariair@yandex.ru*

Интенсивное развитие наноустройств, действующих как системы с двумя состояниями, побудило к поиску наноразмерных молекулярных структур, динамика которых аналогична динамике бистабильных механических систем, таких как арка Эйлера и осциллятор Дуффинга. Особый интерес представляют молекулярные структуры, способные к спонтанным вибрациям и стохастическому резонансу. В этом докладе будет рассказано о моделировании коротких пиридин-фурановых пружин размером в несколько нанометров, демонстрирующих бистабильную динамику. Спонтанные вибрации достигаются при приложении к одному из концов пиридин-фурановой пружины постоянной силы, переводящей систему в бистабильное состояние. Другой конец пружины при этом зафиксирован.

Для перехода в режим стохастического резонанса необходимо приложить слабое периодическое поле. Данные эффекты также продемонстрированы и для случая, когда оба конца олигомера зафиксированы. Сами переходы между состояниями инициированы тепловыми флуктуациями. Теоретическое описание результатов моделирования согласуется с моделью осциллятора Дуффинга.

**Список литературы:**

[1] *Avetisov V.A., Frolova M.A., Markina A.A., Muratov A.D., Petrovski V.S. Nanomaterials* **11** (12), 3264 (2021).

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ ГРАФТ-СОПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ

Курбатов А.О.<sup>1,2</sup>, Гордиевская Ю.Д.<sup>1</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

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

<sup>3</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва

*kurbatov@polly.phys.msu.ru*

Графт-сополимеры представляют собой разветвленные сополимеры, у которых основная цепь состоит из одного типа мономерных звеньев, к которой привиты боковые цепи, построенные из звеньев другого типа. В данной работе методом компьютерного моделирования изучается структура и механические свойства расплава графт-сополимеров с небольшой долей сегрегирующих боковых цепей, схематический вид которых представлен на Рисунке 1. Такие системы перспективны в качестве «активных» дисперсионных сред для создания на их основе магнитоактивных материалов путем внедрения в них магнитных частиц. Ожидается, что вязкоупругими свойствами таких сред можно управлять путем изменения внешних условий, в частности, температуры, вызывая переходы между микрофазно-расслоенным и однородным состоянием системы.

В данной работе мы варьировали соотношения длин основной, коротких и длинных боковых цепей, а также изменяли архитектуру блок-сополимеров и параметр несовместимости между звеньями разных типов. Таким образом, была получена диаграмма состояний расплава данных полимеров, включающая области микрофазного расслоения. В зависимости от параметров в системе наблюдаются сферические, червеобразные и цилиндрические агрегаты, а также ламели. Кроме того, были исследованы механические свойства полученных расплавов и локальные особенности конформационного поведения отдельных цепей при растяжении.

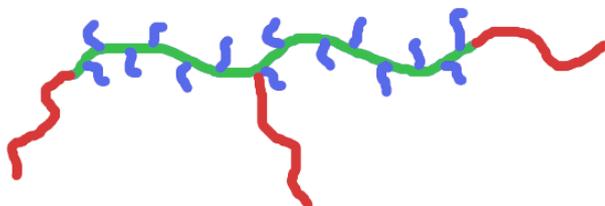


Рис. 1 – Схематическое представление типа исследуемых графт-сополимеров. Зеленым обозначена основная цепь, синим боковые короткие цепи, красным длинные боковые цепи, с варьируемым параметром несовместимости.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-13-00340-П), с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

**СТАБИЛЬНОСТЬ ДЕНДРОНИЗИРОВАННЫХ ЛИПОСОМ**

Михайлов И.В., Даринский А.А.

*Институт высокомолекулярных соединений российской академии наук, Россия  
georg\_om@mail.ru*

Методом диссипативной динамики частиц проведено моделирование DMPC липосом, внешне конъюгированных с молекулами полиглицерин-дендронов, а также линейным ПЭГ в водном растворе. Варьировалась плотность прививки, число поколений и длина спейсеров привитых дендронов. Показано, что модификация внешней поверхности липосом за счёт прививки гидрофильных дендронов практически не влияет на размер и форму везикулы, а также на морфологию липидной мембраны до достижения определенных критических пороговых значений их плотности прививки, степени полимеризации и числа поколений. Превышение пороговых значений этих структурных параметров приводит к необратимой деформации липидной мембраны. При этом переход привитых молекул с внешней поверхности липосомы на внутреннюю не наблюдается для дендронов с числом поколений выше единицы даже при высоких плотностях прививки. Определены критические значения числа поколений и характеристики молекулярного покрытия при этих значениях для различных плотностей прививки и длинах спейсеров привитых цепей.

Показано, что химический потенциал привитого дендрона может служить показателем стабильности конъюгированной липосомы. Значение химического потенциала для различных привитых молекул рассчитывалось в приближении среднего поля, как химический потенциал цепи в составе сферической полимерной щётки на поверхности липосомы. Анализ данных моделирования показал, что в области применимости среднеполевого подхода величина химического потенциала является достаточным критерием для разделения везикул на стабильные и нестабильные.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве руководства для экспериментального конструирования наноконтейнеров на основе липидных везикул с внешним защитным покрытием из разветвлённых гидрофильных молекул.

## КОНФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОДИНОЧНОЙ ДИПОЛЬНОЙ ЦЕПИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Мерзлякова Т.Ю.<sup>1</sup>, Гордиевская Ю.Д.<sup>1,2</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской  
академии наук, Москва, Россия  
merzlyakova@polly.phys.msu.ru

Растяжение одиночной полимерной цепи является одной из наиболее узнаваемых задач в физике полимеров. С ее помощью можно изучать биологические процессы, такие как механизм размотки молекулярного мотора или деформация клетки [1,2]. При этом многие биологические макромолекулы имеют в своем составе заряженные мономеры, то есть являются ион-содержащими полимерами. Особым классом ион-содержащих полимеров являются дипольные цепи, или цепи с полярными группами.

В данной работе методом молекулярной динамики было изучено растяжение дипольной цепи с варьируемой долей полярных групп. Диполи моделируются как два противоположно заряженных звена, одно из которых принадлежит основной цепи, а другое является боковой группой и может свободно вращаться. Растяжение проводилось путем приложения внешней силы к концевому звену (Рис.1), при этом другой конец фиксируется. Особое внимание уделено изучению конформаций, образующихся при разворачивании глобулы в малополярных растворителях. Было показано, что в зависимости от доли полярных групп растяжение может происходить скачкообразно или постепенно, также при определенных условиях существует плато, связанное с образованием мультиплетов, препятствующих деформации.

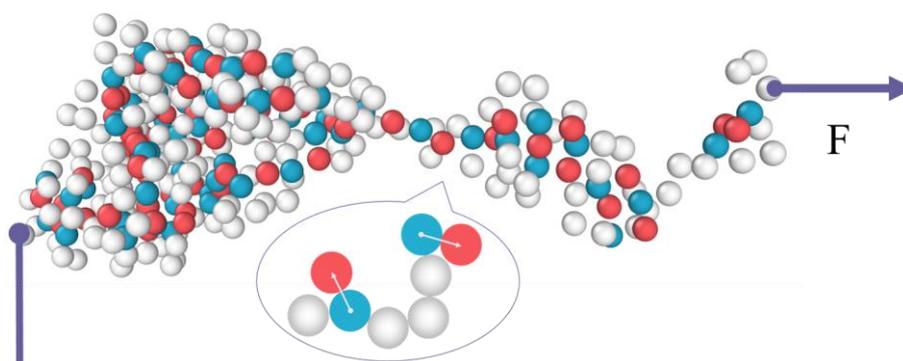


Рис. 1 – Снимки растяжения дипольной цепи.

### Список литературы:

- [1] S. Prakash and A. Matouschek, Trends Biochem. Sci. **29**, 593 (2004).  
[2] C. P. Johnson, H.-Y. Tang, C. Carag, D. W. Speicher, and D. E. Discher, Science **317**, 663 (2007).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-622).

**ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОЛИМЕР СО СЛУЧАЙНЫМИ ПЕТЛЯМИ КАК  
МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ХРОМОСОМ**

Славов Б.Д., Половников К.

*Сколковский институт науки и технологий, г. Москва  
k.polovnikov@skoltech.ru*

Хромосомы представляют собой полимерные цепи длиной в несколько сантиметров, упакованные внутри ядра, размер которого составляет всего несколько микрон. Эта компактизация носит неслучайный характер и контролируется специфической активностью белкового аппарата, поддерживающего наиболее консервативные биологические функции ДНК – репарацию, репликацию и регуляцию генов («3R»). В частности, давно предполагалось, что хромосомы млекопитающих во время интерфазы сворачиваются в петли (например, с помощью механизма экструзии петель [1]), однако их прямое экспериментальное обнаружение оставалось сложной задачей в силу высокой плотности хроматина и флуктуаций его укладки. Знаменитые эксперименты Hi-C, проведенные в последние годы, выявили, что фрактальная размерность хроматина ближе к 3 (компактная упаковка), чем к 2 (идеальная цепочка). Однако, отсутствие вычислительной физической модели фрактального полимера, свернутого в петли, ограничивает наши возможности по интерпретации экспериментальных данных и, в частности, не позволяет разделить эффект петель и базовую фрактальную укладку хромосом [2]. В этой работе мы предлагаем теоретическую модель фрактального полимера с произвольной фрактальной размерностью, дополнительно свернутого в последовательность случайных петель, и решаем ее аналитически как для статистики контактов [3], так и для пространственного размера сегментов. В ансамбле таких полимерных конформаций наша модель воспроизводит универсальное поведение экспериментальных данных для различных клеток млекопитающих, подчеркивая общие принципы организации хроматина на масштабах до нескольких мегабаз (миллион базовых пар оснований). Таким образом, наш новый аналитический подход позволяет интерпретировать экспериментальные данные и находить параметры укладки хромосом, а также демонстрирует, что интерфазные хромосомы представляют собой «комканные» полимерные цепи, дополнительно организованные в беспорядочно расположенные случайные петли.

**Список литературы:**

- [1] *Fudenberg, Geoffrey, et al.* Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology. Cold Spring Harbor Laboratory Press **82**, (2017).
- [2] *Grosberg, Alexander Y.* Biophysical journal **110** (10), 2133, (2016).
- [3] *Polovnikov, Kirill, et al.* bioRxiv (2022).

**Благодарности**

*Работа авторов поддержана грантом РФФ (№ 21-73-00176) по теме «Эффекты топологических взаимодействий и активной экструзии петель в регуляции пространственной организации хромосом». Авторы благодарны Сергею Белану, Хьюго Брандао, Леониду Мирному, Мехрану Кардару и Витторе Сколари за полезные обсуждения по теме работы.*

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ ПОЛИ(3-ГЕКСИЛТИОФЕНА) НА СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ПАРАФИНЫ/АСФАЛЬТЕНА ДЛЯ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Ларин С.В.<sup>1</sup>, Борздун Н.И.<sup>1</sup>, Глова А.Д.<sup>1</sup>, Назарычев В.М.<sup>1</sup>, Гуртовенко А.А.<sup>1</sup>,  
Люлин С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
natalia.borzdun@gmail.com*

Одним из наиболее распространенных способов повышения эффективности фазопереходных материалов на основе парафинов является введение углеродных наночастиц. Однако агрегация наночастиц в смесях с парафинами может негативно сказываться на свойствах материалов, снижая седиментационную устойчивость смесей [1]. Решением этой проблемы может стать добавление полимерных агентов, обеспечивающих совместимость между ароматическими фрагментами углеродных наночастиц и алифатическими парафинами. В качестве таких агентов могут выступать полимеры с сопряженным ароматическим остовом и алифатическими боковыми группами, такие как полиалкилтиофены [2].

В данной работе с использованием компьютерного моделирования методом молекулярной динамики изучены фазопереходные материалы на основе смесей парафинов с асфальтенами с добавлением поли(3-гексилтиофена) (ПЗГТ) в качестве агента, повышающего совместимость асфальтенов с парафинами. Исследовано влияние введения ПЗГТ на седиментационную устойчивость смесей, в частности выполнена оценка средних размеров агрегатов асфальтенов в смесях и определено влияние добавления полимера на вязкость смесей. Также изучено влияние добавления ПЗГТ на теплофизические свойства материалов на основе парафинов и асфальтенов: температуры и теплоты их фазового перехода и теплопроводности.

### Список литературы:

- [1] Nazir H., Batool M., Bolivar Osorio F. J., Isaza-Ruiz M., Xu X., Vignarooban K., Phelan P., Inamuddin, Kannan A. M. *Int. J. Heat Mass Transf.* **129**, 491–523 (2019).  
[2] Zheng H., Wu K., Chen W., Nan B., Qu Z., Lu M. *Macromol. Chem. Phys.* **222**, 2000418 (2021).

### Благодарности

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 19-13-00178). Компьютерное моделирование проведено с использованием вычислительных ресурсов кластера ИВС РАН, оборудования центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова и центра коллективного пользования «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса» НИЦ «Курчатовский институт» (субсидия Минобрнауки, идентификатор работ RFMEFI62117X0016), <http://skp.nrcki.ru>, и межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН).*

## ПРЕДСКАЗАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Кондратьюк Н.Д.<sup>2,1</sup>, Писарев В.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", г. Москва*

<sup>2</sup>*Объединенный Институт Высоких Температур Российской академии наук, г. Москва, Россия  
nkondratyuk@hse.ru*

Исследование существующих углеводородных жидкостей, а также поиск новых соединений с необходимыми параметрами, представляют большой промышленный интерес, так как углеводороды лежат в основе смазочных и топливных жидкостей. Умение теоретически и вычислительно описывать физико-химические процессы, происходящие в жидкостях при увеличении давлений до нескольких ГПа, позволит дополнить экспериментальный подход.

В докладе будут продемонстрированы методики по молекулярно-динамическому расчету уравнений состояния и коэффициентов переноса для жидких углеводородов [1-6]. Проведено сравнение потенциалов межатомного взаимодействия по их предсказательной способности. Предсказанные без наличия экспериментальных данных коэффициенты вязкости для нормальных, разветвленных алканов и ароматических соединений в диапазоне давлений от 0.1 МПа до 1 ГПа совпадают с опубликованными позднее экспериментальными работами. Показан универсальный скейлинг между коэффициентами диффузии и вязкости при давлениях вплоть до 500 МПа.

### **Список литературы:**

- [1] *Pisarev V., Kondratyuk N. Fluid Phase Equilib., 501, 112273, (2019)*
- [2] *Kondratyuk N.D., Pisarev V.V. Fluid Phase Equilib., 498, 151-159, (2019)*
- [3] *Kondratyuk N. J. Chem. Phys., 151(7), 074502, (2019)*
- [4] *Kondratyuk N., Lenev D., Pisarev V. J. Chem. Phys, 152, 191104, (2020)*
- [5] *Kondratyuk N.D., Pisarev V.V., Ewen J.P., J. Chem. Phys., 153(15), 154502, (2020)*
- [6] *Kondratyuk N.D., Pisarev V.V. Fluid Phase Equilib., 544-545, 113100, (2021)*

### **Благодарности**

*Работа частично подготовлена в ходе проведения исследования в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).*

## ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

Мельникова С.Д., Волгин И.В., Ларин С.В.

*Институт Высокмолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург  
sofia.melnikova122@gmail.com*

Полимерные пленки широко применяются для упаковки пищевых продуктов и медицинских препаратов. При этом однослойные полимерные пленки зачастую имеют недостатки, ограничивающие область их применения. Один из способов улучшения характеристик таких пленок – создание многослойных материалов. Коэкструзионные многослойные полимерные пленки являются одними из наиболее перспективных полимерных упаковочных материалов, к преимуществам которых относятся возможность управления свойствами пленки путем вариации состава и толщины ее слоев, простота их получения, переработки и утилизации. Метод коэкструзии позволяет создавать многослойные пленки посредством непрерывного технологического процесса из различных полимеров, при этом толщина отдельных слоев может достигать до нескольких нанометров [1]. В работе с помощью метода молекулярной динамики исследованы транспортные свойства коэкструзионных многослойных полимерных пленок в зависимости от материала чередующихся слоев и их толщины. Рассмотрены многослойные полимерные пленки трех типов: 1) пленки с чередованием слоев совместимых на выбранных масштабах длин цепей полимеров полилактида (ПЛА) и поли-3-гидроксибутирата (ПГБ); 2) пленки с чередованием слоев несовместимых полимеров ПЛА и полиэтилена (ПЭ); 3) однокомпонентные пленки на основе ПЛА с учетом наличия границ между слоями. Компьютерное моделирование выполнялось методом полноатомной молекулярной динамики с помощью программного пакета Gromacs в силовом поле GAFF [2, 3]. В результате работы с использованием разработанных моделей многослойных пленок были определены коэффициенты диффузии  $D$  для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в них. Обнаружено, что  $D_{\text{ПЛА/ПЭ}} > D_{\text{ПЛА/ПГБ}}$ , причем  $D_{\text{ПЛА/ПЭ}}(\text{O}_2) \gg D_{\text{ПЛА/ПГБ}}(\text{O}_2)$ . Показано селективное распределение молекул  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в пленках ПЛА/ПЭ, а также молекул  $\text{CO}_2$  в ПЛА/ПГБ. При этом диффундирующие молекулы концентрировались в слоях ПЛА. Полученный результат коррелирует со значениями растворимости газов в рассмотренных полимерах.

### Список литературы:

- [1] Li Z., Olah A., Baer E. Prog. Polym. Sci. **102**, 101210 (2020).
- [2] Wang J., Wolf R.M., Caldwell J.W., Kollman P.A., Case D.A. J. Comput. Chem. **25** (9), 1157 (2004).
- [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).

### Благодарности

*Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №: 075-15-2020-794). Моделирование проводилось с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.*

**ОГРУБЛЁННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИСТАБИЛЬНЫХ  
СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРОВ**Муратов А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральный Исследовательский Центр Химической Физики им. Н.Н. Семёнова  
Российской Академии Наук, Москва, Россия  
ad.muratov@physics.msu.ru*

Интенсивная разработка наноустройств, основанных на переключении между двумя устойчивыми состояниями, обуславливает поиск молекулярных наноструктур, обладающих динамикой, схожей с бистабильными механическими системами по типу осциллятора Дуффинга. Демонстрация спонтанных вибраций или стохастического резонанса в таких молекулярных структурах представляет особенный интерес. С помощью полноатомных молекулярно-динамических вычислений было продемонстрировано бистабильное поведение по типу осциллятора Дуффинга коротких цис-пиридин-фурановых олигомеров, в которых спонтанные вибрации и стохастический резонанс активируются температурой [1]. В данной работе представляется огрублённая модель коротких цис-пиридин-фурановых олигомеров. Используется ранее разработанный алгоритм параметризации стереорегулярных соединений в последней версии наиболее распространённого огрублённого силового поля Martini 3.0. Исследуется возможность спонтанного резонанса и стохастических вибраций в огрублённой системе.

**Список литературы:**

[1] *Avetisov V.A., Frolkina M.A., Markina A.A., Muratov A.D., Petrovski V.S.* *Nanomaterials* **11** (12), 3264 (2021).

**САМООРГАНИЗАЦИЯ СОПОЛИМЕРОВ С МОЛЕКУЛЯРНО-ЩЕТОЧНЫМИ БЛОКАМИ В СЕЛЕКТИВНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ**

Лебедева И.О.<sup>1</sup>, Жулина Е.Б.<sup>1</sup>, Борисов О.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux, UMR 5254 CNRS UPPA, Pau, France  
innale92@gmail.com*

Блок-сополимерные молекулы, включающие блоки, которые обладают разными химическими свойствами, способны самопроизвольно собираться в селективных растворителях, образуя сферические или цилиндрические мицеллы или полимеросомы [1].

В работе было показано, что морфологию самоорганизованных частиц, сформированных из молекулярно-щеточных блок-сополимеров, можно контролировать путем изменения степени полимеризации (СП) боковых цепей, основной цепи и плотности прививки. Увеличивая степень разветвленности растворимого блока, можно добиться стабилизации сферической морфологии мицелл, в то время как увеличение разветвленности нерастворимого блока приводит к противоположному эффекту, и термодинамически более устойчивыми становятся цилиндрические мицеллы или полимеросомы.

Однако, если СП блоков остается постоянной, но при этом увеличивается плотность прививки боковых цепей, наблюдается обратный эффект: более стабильной становится сферическая морфология мицелл, а область стабильности полимеросом сужается.

Нами также были изучены специфические особенности сферических мицелл, образованных молекулярно-щеточными блок-сополимерами с относительно короткими основными цепями нерастворимых блоков. Из-за дополнительного объема, занимаемого боковыми цепями, радиус ядра в мицелле, образованной блок-сополимером с разветвленным нерастворимым блоком, оказывается больше, чем радиус ядра в мицелле из сополимеров с линейным нерастворимым блоком с аналогичной СП. В результате основная цепь нерастворимого блока щетки достигает предела растяжимости при тех же условиях, при которых линейный нерастворимый блок с аналогичной степенью полимеризации еще не растянут до своей контурной длины.

**Список литературы:**

[1] *Mai, Y.; Eisenberg, E. Chem.Soc.Rev.* **41**, 5969-5985 (2012).

[2] *Pavlov G.M., Okatova O.V., Mikhailova A.V., Ulyanova N.N., Gavrilova I.I., Panarin E.F. Macromol. Biosci.* **10**, 790 (2010).

[3] *Pavlov G.M., Okatova O.V., Gubarev A.S., Gavrilova I.I., Panarin E.F. Macromolecules* **47** (8), 2748 (2014).

**Благодарности**

*Данная работа была выполнена при поддержке Министерства Науки и Высшего образования Российской Федерации в рамках государственного контракта №14.W03.31.0022.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Назарычев В.М.<sup>1</sup>, Глова А.Д.<sup>1</sup>, Ларин С.В.<sup>1</sup>, Люлин А.В.<sup>2</sup>, Люлин С.В.<sup>1</sup>,  
Гуртовенко А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Технический университет г. Эйнховена, Нидерланды*

*nazarychev@imc.macro.ru*

Понимание механизмов фазовых превращений имеет важное значение для молекулярных систем, практическое применение которых основано на происходящих в них фазовых переходах. Типичными представителями таких систем являются органические фазопереходные материалы, используемые в тепловых аккумуляторах. Детальная информация о фазовых переходах (например, кристаллизации) может быть получена с помощью компьютерного моделирования, в котором температура системы понижается с фиксированной скоростью. Однако, до сих пор остается открытым вопрос, может ли такое моделирование адекватно описывать процесс кристаллизации, поскольку скорости охлаждения, доступные для атомистического компьютерного моделирования, на много порядков превышают таковые в эксперименте. В данной работе впервые проведено систематическое исследование того, как скорость охлаждения в моделировании влияет на неизотермическую кристаллизацию органических фазопереходных материалов, таких как парафин. С этой целью было проведено компьютерное моделирование методом полноатомной молекулярной динамики, в котором скорость охлаждения варьировалась в широких пределах. Оказалось, что для скорости охлаждения в моделировании существует некое пороговое значение. При меньших скоростях компьютерное моделирование способно адекватно описывать процесс кристаллизации в парафине: как и в эксперименте, при кристаллизации в моделировании наблюдается ступенчатое изменение температурной зависимости плотности, энтальпии и теплопроводности. Однако при превышении этого порогового значения, когда охлаждение происходит слишком быстро, свойства парафина в моделировании начинают существенно отклоняться от того, что наблюдается в эксперименте. В частности, чем быстрее охлаждение в системе, тем большая ее часть оказывается переохлаждена и не кристаллизуется при понижении температуры. Для самого быстрого охлаждения, рассмотренного в работе, наблюдается полное отсутствие кристаллизации. При этом как температура кристаллизации, так и энтальпия кристаллизации уменьшаются с увеличением скорости охлаждения, что согласуется с экспериментальными данными. Таким образом, правильный выбор скорости охлаждения имеет критически важное значение в компьютерном моделировании неизотермической кристаллизации органических фазопереходных материалов, таких как парафин.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (Соглашение № 19-13-00178).*

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА С ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ЩЕТКОЙ:  
МОДЕЛЬ ПУАССОНА-БОЛЬЦМАНА**

Саламатова Т.О.<sup>1</sup>, Лактионов М.Ю.<sup>1</sup>, Жулина Е.Б.<sup>2</sup>, Борисов О.В.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup>*CNRS, Université de Pau et des Pays de l'Adour UMR 5254, Institut des Sciences  
Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux, Pau, France  
salamatovat170301@gmail.com*

Слабые полиамфолиты и глобулярные белки имеют на своей поверхности рН-чувствительные кислотные и основные аминокислотные остатки. Благодаря этому обстоятельству возможен эффект самопроизвольной абсорбции белков полиэлектролитной щеткой, в том числе, когда суммарный заряд белковой глобулы имеет тот же знак, что и заряд на звеньях щетки [1]. Для расчета свободной энергии введения глобулярного белка в полиэлектролитную щетку и анализа равновесного распределения глобулярных белков между буферным раствором и ПЭ щеткой используется приближение самосогласованного поля Пуассона-Больцмана. Мы демонстрируем, что абсорбция полиамфолита (белка) ПЭ щеткой с аналогичным зарядом может быть термодинамически выгодной из-за уменьшения свободной энергии ионизации рН-чувствительных групп на поверхности глобулы. Важно отметить, что смена знака поверхностного заряда глобулы является необходимым, но недостаточным условием для спонтанной абсорбции белка ПЭ щеткой [2]. Зависимые от положения белка относительно поверхности прививки щетки профили свободной энергии введения полиамфолита в щетку и соответствующие коэффициенты распределения были рассчитаны как функция (i) архитектурных параметров щетки; (ii) объема белковой глобулы и количества ионизируемых (кислых и основных) остатков; (iii) параметров среды (рН и концентрация соли в растворе). В зависимости от комбинации этих параметров свободная энергия может монотонно уменьшаться или демонстрировать минимум как функция расстояния между белком и поверхностью прививки ПЭ щетки. В соответствии с экспериментальными наблюдениями [3-4], теория предсказывает, что белковая глобула может быть спонтанно поглощена аналогично заряженной щеткой при низкой ионной силе, но этого не происходит при высокой ионной силе раствора.

**Список литературы:**

- [1] Wittemann, A.; Haupt, B.; Ballauff, M. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **5**, 1671–1677 (2003).  
[2] Laktionov, M.Y.; Zhulina, E.B., Borisov, O.V. *Langmuir*, **37**, 2865–2873 (2021).  
[3] Wittemann, A.; Ballauff, M. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **8**, 5269–5275 (2006).  
[4] Becker, A. L.; Henzler, K.; Welsch, N.; Ballauff, M.; Borisov, O. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* **17**, 90–96 (2012).

**СЕКЦИЯ 5**

***ТЕОРИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ САХАРОВ МЕТОДОМ  
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**

Дещеня В.И.<sup>1,2</sup>, Кондратюк Н.Д.<sup>1,2,3</sup>, Ланкин А.В.<sup>1,2</sup>, Норман Г.Э.<sup>1,2,3</sup>

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

<sup>2</sup>*Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, г. Москва*

*deshchenia.vi@phystech.edu*

Целлюлоза является самым распространенным биополимером на Земле и находит множество применений в науке и технике. Одним из наиболее перспективных направлений является использование мембран на её основе в Red-Ox элементах [1]. Однако, в силу большого числа производных целлюлозы, поиск оптимального материала мембраны невозможен без применения компьютерного моделирования. Метод молекулярной динамики позволяет изучать большое число соединений, рассчитывать их свойства и проводить исследования на молекулярном уровне. Однако, для получения корректных результатов необходимо иметь подходящее для соединения силовое поле. Поиск потенциала, правильно воспроизводящего динамические свойства сахаров в растворах, является актуальной задачей [2].

В данной работе [3] исследуется применимость модификации силового поля OPLS-AA/1.14\*CM1A [4] для описания водных растворов сахаров. Для проверки модели исследуются растворы сахарозы, по которым представлено большое количество экспериментальных данных. Исследуется воспроизводимость моделью структурных и динамических характеристик растворов с концентрацией сахарозы от 10 % до 50 % в диапазоне температур от 273 К до 343 К. Было показано, что модель воспроизводит все конформации сахарозы, показанные в литературе [5], одна из которых наблюдается только при температурах от 283 К до 308 К. Получено согласие с экспериментальными данными по плотности, коэффициентам вязкости и диффузии. Кроме того, по точности расчета плотности и вязкости исследуемая модель превосходит другие модели водных растворов сахарозы, представленные в литературе [1, 6]. Исследован гидродинамический радиус молекулы сахарозы. Показано, что он не зависит от температуры раствора, но спадает при повышении концентрации сахара от 30 %, что может свидетельствовать об изменении граничных условий обтекания молекулы сахарозы и согласуется с экспериментальными данными.

**Список литературы:**

[1] *Janoschka T. et al. Nature. 527, 78 (2015).*

[2] *Jamali S.H. et al. J. Chem. Theory Comput. 14 (12), 6690 (2018).*

[3] *Дещеня В.И., Кондратюк Н.Д., Ланкин А.В., Норман Г.Э. ЖФХ. 96(3), 373 (2022).*

[4] *Dodda L.S. et al. J. Phys. Chem. B. 121 (15), 3864 (2017).*

[5] *Xia J., Case D.A. Biopolymers. 97 (5), 289 (2012).*

[6] *Lay W.K., Miller M.S., Elcock A.H. J. Chem. Theory Comput. 12 (4), 1401 (2016).*

**Благодарности**

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (№ 18-19-00734).*

# МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОР ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОЛИЭТИЛЕНА

Логунов М.А.<sup>1,2</sup>, Орехов Н.Д.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>*Объединенный институт высоких температур РАН  
mikhail.logunov@phystech.edu*

Взаимосвязь между локальной топологией молекулярных зацеплений на наноразмерных масштабах и механическими свойствами на макроскопическом уровне является одним из открытых вопросов науки о полимерах. Свойства полимерных цепей, находящихся в контакте с поверхностью наноразмерного наполнителя, неизбежно отличаются от свойств чистого полимера. Дополнительные топологические ограничения создаются протяженными нановключениями, воздействующими на подвижность молекул полимера.

В данной работе в рамках метода молекулярной динамики моделируется процесс порообразования в аморфном полиэтилене в ходе одноосного растяжения и исследуется, как изменение концентрации межмолекулярных зацеплений влияет на динамику образования наноразмерных пор. С помощью методики расчета примитивного пути [1] анализируется изменение топологии зацеплений полимерных цепочек чистого полиэтилена. Проводилось изучение динамики двух систем аморфного полиэтилена с различными начальными концентрациями межмолекулярных зацеплений – в одном случае концентрация была больше, чем в другом [2]. Результаты статистического анализа размеров пор свидетельствуют о том, что межмолекулярные зацепления замедляют процессы их роста и агрегации в объеме полимера.

## **Список литературы:**

[1] *Sukurmaran S.K., Grest G.S., Kremer K., Everaers R. J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys.,* **43** (8), 917 – 933 (2005).

[2] *Logunov M. A., Orekhov N. D. Polym. Sci., Ser. A.* **63** (5), 591-599 (2021).

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТКЛИКА МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК

Наджарьян Т.А.<sup>1</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва  
nadzharjjan.timur@physics.msu.ru*

Исследование свойств магнитоактивных эластомеров и процессов, происходящих в этих «умных» композитных материалах, является одной из наиболее активно развивающихся областей полимерной науки. Теоретические исследования в этой области предполагают аналитическое или численное описание магнитомеханического сцепления, которое лежит в основе всех характерных для этих материалов явлений. Ввиду сложности строгого описания как магнитомеханической сплошной среды, так и системы большого числа частиц ферромагнитного наполнителя в полимерной матрице, в данной работе предлагается использовать малые ячейки объёма материала, содержащие одну или несколько частиц наполнителя, и рассчитывать механические характеристики материала на основе ансамбля таких ячеек.

При описании ячейки материала предполагается, что полимерная матрица представляет собой сплошную гиперупругую среду. Для получения результатов на мезоскопическом масштабе используется метод конечных элементов. Отклик материала на основе модели одночастичных ячеек в двухмерном случае был рассмотрен в работе [1]. В текущем исследовании рассмотрены трёхмерные ячейки, содержащие анизотропные частицы ферромагнитного наполнителя. Для различных геометрических параметров частиц наполнителя, их начальных положений и их концентрации в материале проведены расчёты механических напряжений и деформаций в системе, зависимостей запасённой энергии от смещения частиц и от внешнего магнитного поля. Рассмотрены различные граничные условия для ячеек, а также наполнители с различными магнитными свойствами. Получены эффективные модули упругости материала в присутствии магнитного поля.

### **Список литературы:**

[1] *Nadzharjjan T.A., Stolbov O.V., Raikher Yu.L., Kramarenko E.Yu. Soft Matter. 15, 9507 (2019).*

### **Благодарности**

*Авторы выражают благодарность Российскому Научному Фонду за финансовую поддержку в рамках гранта 19-13-00340-П.*

**СЕКЦИЯ 6**

***ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## ГИБКИЕ ДАТЧИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Воробьев В.К., Соколова М.П., Смирнов М.А.

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

Разработка новых материалов для производства гибких и компактных датчиков механической нагрузки является актуальной задачей современной науки и техники. Такие датчики могут быть использованы в качестве “искусственной кожи” в протезах верхних конечностей нового поколения и актуаторов в “мягких” роботах [1]. Наиболее универсальными материалами для производства чувствительного элемента датчика являются ионные гели, например, на основе ионных жидкостей или их более экологичных аналогов – глубоких эвтектических растворителей (ГЭР). ГЭР состоят, как правило, из двух компонентов (донора и акцептора водородной связи), один из которых может быть ненасыщенным соединением (акриламид, акриловая кислота). Это открывает возможность получения ионных гелей и композитов при полимеризации ГЭР, используя в том числе аддитивные технологии производства, призванные улучшить характеристики датчиков за счет создания сложной геометрии чувствительного элемента [2]. Тем не менее в значительном количестве работ для получения датчиков сжатия используют метод стереолитографии, что ограничивает массовое производство, ввиду сложности и трудоемкости. Предполагается, что развитие 3D-печати методом робокастинга позволит решить данную проблему.

В работе использовали ГЭР на основе акриловой кислоты и хлорида холина, в объеме которого диспергировали нанокристаллы целлюлозы, обеспечившие необходимые реологические характеристики (до полимеризации), и механические свойства гелей. Для придания материалу упругих свойств применяли сшивающий агент N,N'-метиленабисакриламид. 3D-печать дисперсии проводили на графитовой фольге, используемой в качестве гибкого электрода, и затем проводили фотоотверждение. Геометрию чувствительного слоя варьировали для получения максимальных характеристик датчика. Характеристики датчиков изучали в режимах постоянного и переменного напряжения. Диапазон измеряемых давлений составил более 400 кПа и в значительной степени зависел от геометрии чувствительного слоя. Для полученных датчиков была изучена стабильность отклика при 2000 циклов нагружения.

### **Список литературы:**

[1] Zhao G., Lv B., Wang H., Yang B., Li Z., Junfang R. International Journal of Smart and Nano Materials **12** (3), 307–336 (2021).

[2] Lai C. W., Yu S. S. ACS applied materials & interfaces **12**(30), 34235 (2020).

### **Благодарности**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-33-90244*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГЕНЕРАТА ПРОИЗВОДСТВА ООО «БОНУС-КАМА» НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Потапов О.А.<sup>1</sup>, Панфилова О.А.<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Казанский национальный исследовательский  
технологический университет", г. Казань  
olegpotapov00@gmail.com*

В современном мире существует проблема переработки отработанных шин. Лишь 20 % отработанных покрышек находят применение, остальные являются источником загрязнения окружающей среды [1]. Основным методом, позволяющим повторно использовать резину, является ее термомеханическая девулканизация с получением нового продукта – регенерата [2].

В связи с тем, что в Республике Татарстан (г. Менделеевск) в 2021 году было создано предприятие ООО «Бонус-Кама» по получению регенерата из отработавших грузовых шин, потенциальным потребителем данного продукта может стать предприятие АО «КВАРТ», которое является крупнейшим в Поволжье по выпуску резинотехнических изделий. Нам было предоставлено несколько образцов регенерата, полученных термомеханической деструкцией, из крошки грузовых шин. Образцы регенератов были исследованы на предмет возможности замены части каучука в составе резиновой смеси на основе комбинации бутадиен-стирольного и бутадиенового каучуков. Согласно результатам физико-механических испытаний, наилучшими свойствами обладают вулканизаты, содержащие 20 мас. ч. регенерата. Поскольку введение 20 мас. ч. регенерата практически не повлияло на уровень свойств, на следующем этапе оценивали возможность увеличения содержания регенерата путем частичной замены целевого каучука, таким образом, содержание регенерата в смесях составило 50, 70 и 90 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Согласно результатам реометрических испытаний, введение регенерата свыше 50 мас. ч. во всех случаях приводит к снижению оптимального времени вулканизации и росту скорости вулканизации. Установлено, что введение 20 мас. ч. регенератов не оказывает существенного влияния на деформационно-прочностные свойства вулканизатов, которые снижаются на 6-8 %, а введение свыше 70 мас. ч. приводит к резкому снижению прочностных показателей уже почти на 30 %. Такие показатели могут свидетельствовать о наличии в составе регенератов большого количества олигомерных фракций.

### **Список литературы:**

[1] Горай С., Мондал Д., Дханания С., Чаттопадхьяй С., Рой М., Де Д. Журнал эластомеров и пластиков **51**, 193-210 (2019).

[2] Охотина Н.А., Курбангалеева А.Р., Панфилова О.А. Казань: КНИТУ **112** (2015).

## ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ПАРОВ МЕТАНОЛА В ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАНАХ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Мирошниченко Д.В.<sup>1</sup>, Шалыгин М.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии  
наук (ИНХС РАН)  
dmiroshnichenko@ips.ac.ru

При добыче природного газа (ПГ) на поверхность поднимается газовый поток, содержащий как капельную жидкость, так и пары воды. В холодных климатических районах из-за низкой температуры и высокого давления потока создаются термобарические условия для формирования газовых гидратов. В качестве ингибитора гидратообразования в скважину вводят метанол, который выходит вместе с ПГ в виде паров. Перед транспортировкой газа по магистральным трубопроводам газ необходимо осушить согласно требованиям СТО Газпром 089-2010. В зависимости от климатической зоны и времени года точка росы по влаге не должна превышать  $-3...-20$  °С. Самым распространённым способом удаления паров воды из ПГ является гликолевая осушка (абсорбция), которая также обеспечивает удаление паров метанола. В качестве альтернативной технологии может быть применён мембранный метод, также позволяющий удалять пары воды параллельно извлекая и пары метанола. Ввиду малого количества литературных данных о проницаемости полимерных материалов для паров метанола в данной работе была проведена их оценка с применением корреляционного метода [1]. Выполнен расчёт одностадийного мембранного процесса осушки потока ПГ 500 тыс. м<sup>3</sup>/ч на примере модельной тройной парогазовой смеси CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O/MeOH.

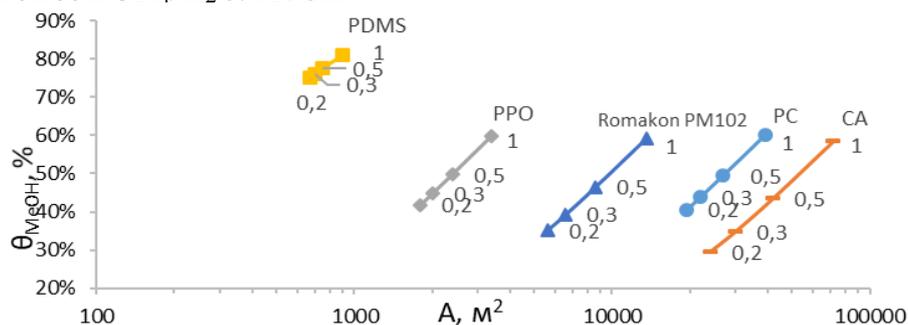


Рис. 1. – Зависимость требуемой площади мембраны (A) и степени извлечения метанола ( $\theta_{MeOH}$ ) от типа мембраны и давления пермеата (0,2-1,0 атм) при достижении ТТРв  $-20$  °С.

Результаты расчёта показали, что мембрана на основе сополимера ПДМС обеспечивает минимальные значения площади мембраны и наибольшее извлечение метанола (до 85%), однако потери метана в этом случае приблизительно в 2 раза выше, чем при использовании других мембран.

### Список литературы:

[1] Malykh O.V., Golub A.Yu., Teplyakov V.V. Adv. Coll. Interface Sci. **164**, 89 (2010).

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СШИВКИ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ИХ ВЛАГОУДЕРЖИВАЮЩИЕ И СВЯЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА В ПЕСЧАНОМ СУБСТРАТЕ

Ильясов Л.О.<sup>1</sup>, Панова И.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
illeo98@mail.ru*

Борьба с деградацией почв вследствие эрозии и засухи уже долгое время является актуальной темой. Сейчас стоит задача поиска и оптимизации новых мелиорантов для улучшения качества и стабильности почв. Одними из наиболее эффективных и выгодных являются полимерные мелиоранты, в том числе сшитые сополимеры с сетчатой структурой, образующие гидрогели. [1] Кроме того, в последнее время интерес исследователей привлечен к поведению гидрогелей в модельных гранулированных средах. [2] Данная работа посвящена изучению трех сетчатых сополимеров с различной степенью сшивки и влияния степени сшивки на их функциональные свойства как мелиорантов для песчаного субстрата.

Были использованы анионные сшитые сополимеры (АСП#) акриламида и акрилата калия с введением биodeградируемых фрагментов крахмала. В качестве агента сшивки использовали N,N'-метиленабисакриламид в содержании 0,04 вес.% (АСП#1), 0,2 вес.% (АСП#2) и 1 вес.% (АСП#3). Содержание функциональных карбоксильных групп во всех сополимерах составило  $\sim 6 \cdot 10^{-3}$  моль/г.

Показано, что при свободном набухании в 0,001М фосфатном буфере pH 6,5 степень набухания сополимеров закономерно снижается с увеличением степени сшивки (~450 для АСП#1, ~150 для АСП#2 и ~100 для АСП#3). Однако при помещении сополимеров в песчаный субстрат было замечено, что, во-первых, степень набухания всех образцов снижается, во-вторых, наблюдается экстремальная зависимость набухания сополимеров от сшивки с максимумом для образца со средней степени сшивки (АСП#2). Данное наблюдение было связано с механическими свойствами гидрогелей, а именно, с тем фактом, что слабосшитый образец (АСП#1) оказался неспособен эффективно сопротивляться внешнему давлению субстрата, в результате чего его набухание значительно ограничено. Это предположение было подтверждено реологическими исследованиями.

С другой стороны, было исследовано влияние всех образцов на структуру песчаного субстрата. Показано, что слабосшитый образец АСП#1 вследствие своей мягкости способен встраиваться между частицами песка и связывать их в единую матрицу, таким образом, проявляя свойства многофункционального мелиоранта. АСП#2 и АСП#3 подобного поведения не проявляли.

### **Список литературы:**

[1] *Панова И.Г., Ильясов Л.О., Ярославов А.А.* Высокомолекулярные соединения, Серия С **63**, 232 (2021).

[2] *Louf J., Lu N., O'Connell M., Cho H., Datta S.* Sci. Adv. **7**, eabd2711 (2021).

### **Благодарности**

*Авторы выражают благодарность к.х.н. Куцеву П.О. (ВГУ) за получение сополимеров. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №19-29-05036 мк.*

## СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЛИГОФОСФАЗЕНОВ

Чернышева А.И.<sup>1</sup>, Карпова Е.А.<sup>1</sup>, Терентьева Д.А.<sup>1</sup>, Солдатов М.А.<sup>1</sup>, Есин А.С.<sup>1</sup>, Горлов М.В.<sup>1</sup>, Бредов Н.С.<sup>1</sup>, Поляков В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва  
anna.iv.chernysheva@gmail.com*

Фосфазеновые олиго- и полимеры являются перспективными соединениями для применения в области сельского хозяйства [1]. Продукты разложения фосфазеновых соединений, в частности, фосфаты аммония, способны выступать в качестве удобрений [2]. В то же время, возможность введения широкого спектра боковых групп в состав фосфазенов позволяет придавать различные дополнительные свойства, такие как контроль гидролитической устойчивости, заряд, гидрофобность/гидрофильность и многие другие. Помимо прочего, возможно получать соединения, обладающие комплексом свойств за счёт введения сразу нескольких заместителей различных видов [3].

В представленной работе рассматриваются фосфазены для доставки биологически активных веществ различных видов: как катионные носители для создания полиплексов с антисмысловыми олигонуклеотидами, обладающими инсектицидной активностью, а также как составляющее пористых сшитых материалов.

Для создания катионных носителей в составе комплексного ДНК-препарата против насекомых-вредителей в качестве стартового образца был синтезирован олиго[бис(N,N-диметилэтилендиамино)фосфазен], для которого была исследована гидролитическая устойчивость в различных средах и способность к связыванию с целевым олигонуклеотидом. Также были синтезированы и исследованы образцы линейных фосфазенов, содержащих, помимо N,N-диметилэтилендиаминных групп, гетероциклические аминные фрагменты, потенциально обладающие фунгицидным эффектом.

Пористые сшитые материалы были получены на основе циклофосфазена и различных сшивающих агентов, в частности, октатетраметиламмонийсиликата, аденина и этилендиамина. Строение синтезированных соединений было подтверждено методами твердотельной ЯМР- и ИК-спектроскопии. Методом низкотемпературной адсорбции азота были оценены пористость и удельная площадь поверхности указанных сшитых образцов.

### Список литературы:

- [1] *Peters G.E., Radel R.J., Medina R. J. Agric. Food Chem.* **36**, 384-390 (1988).
- [2] *Russel D.A., Williams G.G. Soil Sci. Soc. Am. J.* **41** (2), 260-265 (1977).
- [3] *Gleria M., De Jaeger R. Polyphosphazenes: A review.* Berlin, Springer, 2005.

### Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-23-00767).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИНОРБОРНЕНОВ С КАРБОЦИКЛИЧЕСКИМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

Зоткин М.А.<sup>1</sup>, Алентьев Д.А.<sup>1</sup>, Возняк А.И.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1</sup>, Волков А.В.<sup>1</sup>,  
Гаврилова Н.Н.<sup>2</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва  
 max.zotkin@gmail.com

Норборнены представляют собой уникальный класс органических соединений. Полимеры на их основе находят различное применение: материалы для микроэлектроники, оптики и т.д. Легкий синтез норборненов с различными заместителями наряду с их способностью активно полимеризоваться по нескольким механизмам делают полимеры на их основе удобными объектами для изучения взаимосвязей «структура-свойства» [1]. Известно, что жесткоцепные полимеры (например, полиацетилены или полимеры с внутренней микропористостью) являются высокопроницаемыми полимерами. Введение объемных и жестких заместителей в боковую цепь полимера также способствуют росту газопроницаемости. Ранее было показано, что аддитивные полинорборнены, содержащие объемные триметилсилильные группы в боковой цепи, отличаются высокой газопроницаемостью [1]. Для достижения похожего эффекта может быть использован и иной подход, который оказался эффективен для других классов полимеров (например, для полиацетиленов [2]) – введение карбоциклических заместителей в боковую цепь. В свою очередь, свойства полинорборненов, содержащих карбоциклические заместители в боковой цепи, мало изучены. В нашей работе были синтезированы норборнены с карбоциклическими заместителями с помощью реакции [4+2]-циклоприсоединения (Рис. 1). Далее полученные мономеры вовлечены в метатезисную и аддитивную полимеризацию. Для метатезисной полимеризации были использованы катализаторы Граббса первого и второго поколения, а для аддитивной – системы на основе Pd или Ni.

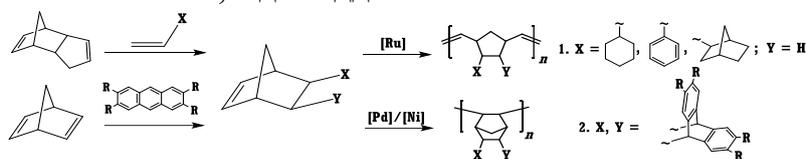


Рис. 1 - Синтез и полимеризация норборненов с карбоциклическими заместителями.

Исследование свойств полученных полинорборненов показало, что введение карбоциклических фрагментов в боковую цепь действительно приводит к увеличению газопроницаемости и пористости. Для некоторых полученных полимеров значения газопроницаемости  $P(\text{CO}_2)$  превышали 1000 Баррер, а удельная поверхность достигала значений 740 м<sup>2</sup>/г.

### Список литературы:

- [1] Wang X. *et al.* Polym. Chem. Royal Society of Chemistry (2021).  
 [2] Hu Y., Shiotsuki M. *et al.* Macromolecules. **41** (22), 8525-8532 (2008).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 22-79-10054.

## ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ С ОРГАНИЧЕСКИМ УДОБРЕНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПОЧВ

Сахарова Ю.А.<sup>1</sup>, Фатеев А.Д.<sup>1</sup>, Олехнович Р.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»  
Cherry7907\_87@mail.ru

Гидрогели — 3D-сшитые полимеры, поглощающие и удерживающие большое количество воды и водных растворов благодаря наличию гидрофильных функциональных групп в их трехмерной сети [1]. Эти материалы служат носителями для различных активных соединений, поскольку можно регулировать скорость их высвобождения и полимерной матрицы [2]. Благодаря таким свойствам гидрогели в настоящее время используются во многих областях, включая сельское хозяйство, в основном в качестве технологического решения для повышения влагообеспеченности почв, а следовательно, и их урожайности, которые способны не только поглощать и удерживать значительное количество жидкости, но и постепенно высвобождать и отдавать по мере необходимости воду и удобрения растениям [3].

Целью настоящей работы было изучение влияния рецептурных параметров (доли сшивающего агента) и органического удобрения на сорбционные характеристики полимерных влагоудерживающих материалов на основе акриловых производных. Композит был получен на основе акрилового гидрогеля радикальной полимеризацией с соотношением акриловой кислоты и акриламида 70:30, в качестве сшивающего агента использовали N,N'-метиленабисакриламид с концентрацией от 0,4 мас% до 0,8 мас% с шагом 0,2 мас%, компонентами окислительно-восстановительной системы являлись пероксидисульфат аммония и N,N,N',N'-тетраметилэтилендиамин и органическое удобрение ООО «Альта-Планта» – Постепа в количестве от 40% до 80 % к смеси мономеров. Было показано, что равновесная степень набухания композита при концентрации сшивающего агента 0,4 мас% и добавлении 40% органического удобрения увеличиваются по сравнению с ненаполненным гидрогелем с 450 до 850 г/г. При увеличении доли органического удобрения 40% до 80% наблюдается увеличение сорбционной емкости от 850 г/г до 1055 г/г, а увеличение сшивающего агента с 0,4 мас% до 0,8 мас% приводит к уменьшению равновесной степени набухания с 850 до 480 г/г; с 1015 до 740 г/г и с 1055 до 640 г/г для концентрации органического удобрения 10 мл, 15 и 20 мл соответственно.

### Список литературы:

- [1] Correa S., Grosskopf A.K., Lopez Hernandez H., Chan D., Yu A.C., Stapleton L.M., & Appel E.A. Translational Applications of Hydrogels. Chemical Reviews (2021).
- [2] Tomadoni, B., Casalongué, C., Alvarez, V.A. Polymers for Agri-Food Applications, Springer, Cham (2019).
- [3] Singh N., Agarwal S., Jain A., & Khan S. Agricultural Water Management. **253**, 106939 (2021).

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИСОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

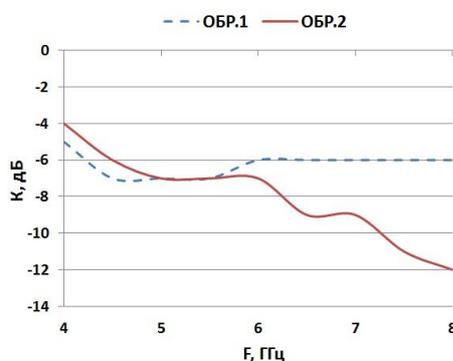
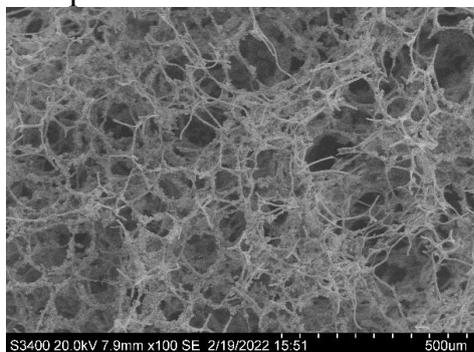
Щербаков А.Е.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) СПбГЭТУ  
a.e.shcherbakov@bk.ru*

При ведении деятельности, связанной с эксплуатацией оборудования, излучающего высокоинтенсивное электромагнитное излучение, имеет место фактор негативного влияния последнего на человеческий организм. Под негативным влиянием понимаются медико-биологические негативные воздействия излучателей, возрастающие с повышением частоты и увеличением мощности. Существующие риски связаны как с тепловым воздействием ЭМИ, так и с биологическими эффектами переменного магнитного поля

Однако существующие технологии не могут удовлетворить растущие требования обеспечения безопасности человека. Целью настоящей работы является обоснование использования технологий осаждения электропроводящих полимеров на несущий материал матрицу, с целью получения высокоэффективных композиционных поглотителей электромагнитных волн.

Основным этапом создания композиционных поглотителей является синтез электропроводящих полимеров совместно с материалом-матрицей-полиуретаном. Формирование распределенного электропроводящего слоя проводимостью порядка  $10^1$  См/см на поверхности и в порах полиуретана (микрофотография) позволяет создавать во всем объеме изделия сообщающуюся электропроводящую сеть. Общий уровень поглощения полученного материала достигает в среднем 8 дБ в диапазоне частот от 4 до 8 ГГц. Данный эффект достигается за счет хорошего согласования волнового сопротивления объема композиционного материала и внешней среды. Что в свою очередь приводит к увеличению доли поглощения электромагнитных волн.



К настоящему времени получены образцы композиционных материалов (Обр.2). Характеристики в сравнении с традиционно используемым материалом (Обр.1) приведены на рисунке выше. На основании полученных результатов следует сделать вывод о перспективности применения композиционных материалов на основе полисопряженных полимеров в качестве радиопоглотителей.

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ ИОННЫХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ  
НАНОВОЛОКОН БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
СОДЕРЖАЩИХ, НЕНАСЫЩЕННЫЕ ГРУППЫ**

Просвирнина А.П.<sup>1</sup>, Бугров А.Н.<sup>1,2</sup>, Федотова В.С.<sup>1</sup>, Сивцов Е.В.<sup>3</sup>, Воробьев В.К.<sup>1</sup>,  
Николаева А.Л.,<sup>1</sup> Смирнов М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический университет*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
aprosvirnina95@gmail.com*

В данной работе были изучены материалы на основе хлорида холина (ХХл), акриловой кислоты (АК) и функционализированных метакрилатными группами нановолокон бактериальной целлюлозы (НВЦ). Модификация поверхности НВЦ для их последующей сополимеризации с акриловой кислотой в составе ионного геля проводилась с помощью 3-(триметоксисилил)пропил метакрилата по методике представленной в работе [1]. Были получены полимеризующиеся ионные гели представляющие собой дисперсии модифицированных НВЦ (1, 2 и 4 масс.%) в смеси АК и ХХл. Реологические измерения данных образцов показали, что они ведут себя как неньютоновские жидкости, что позволяет использовать их для 3D-печати. С увеличением концентрации целлюлозы, наблюдалось увеличение вязкости с 4.3 до 18.8 кПа·с (при скорости сдвига 0.01 с<sup>-1</sup>). Данные о пределе текучести полученных дисперсий коррелировали со значениями критического давления при экструзии. После экструзии в ходе 3D-печати составы подвергали УФ-индуцированной радикальной полимеризации. В результате были получены материалы, образованные полиакриловой кислотой (ПАК) с двумя типами сшивок: химические сшивки модифицированными нановолокнами целлюлозы и водородные связи с молекулами ХХл. Механические испытания, проведенные на образцах, полученных методом 3D-печати с УФ-отверждением, показали, что при повышении концентрации модифицированных нановолокон целлюлозы наблюдается увеличение модуля упругости с 0.55 до 6.5 МПа, снижение относительного удлинения при разрыве от 2700 до 330% и рост прочности образцов от 1.1 до 4.4 МПа. Результаты измерения релаксации механических напряжений и устойчивости при набухании в воде подтверждают образование в процессе синтеза химических сшивок между НВЦ и ПАК, а также наличие межмолекулярных водородных связей между ХХл и ПАК.

**Список литературы:**

[1] Bugrov A.N., Zavalova A.Y., Smyslov R.Y., et al. Luminescence **33**, 837-849 (2018).

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 21-13-00111. Реологические исследования выполнены на оборудовании инженерингового центра СПбГТИ(ТУ).*

## ПРОБЛЕМА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ. ПУТИ РЕШЕНИЯ

Купинский Н.Г.<sup>1</sup>, Абушахманова З.Р.<sup>2,3</sup>, Пантюхов П.В.<sup>2,3</sup>, Масталыгина Е.Е.<sup>2,3</sup>,  
Овчинников В.А.<sup>3</sup>, Попов А.А.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА

<sup>2</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, г. Москва  
nikitakup1999@gmail.com

К 2018 году объем потребления крупнотоннажных полимеров в мире превысил 265 млн тонн. Более 65% спроса приходится именно на полиолефины, в основном полиэтилен и полипропилен [1]. Объемы потребления полимеров с каждым годом лишь растут, а значит растут и объемы отходов, поскольку культура бережливого использования ресурсов находится лишь в зародыше и на данный момент мало распространена [2]. Уже предпринимаются попытки борьбы с экологической проблемой – налаживаются технологии переработки отходов. Но переработке подвергается по разным оценкам от 14 до 25% пластиковых отходов [2]. Таким образом, остальной пластик хранится либо на полигонах, либо сжигается, либо экспортируется, что для некоторых регионов уже является проблемой [3].

Целью работы ставится рассмотрение и оценка существующих путей решения описанной проблемы, определение их положительных и отрицательных сторон, поиск компромиссных сочетаний. Пути решения проблемы:

1. Расширять объемы и улучшать технологии вторичной переработки;
2. Использовать биоразлагаемые полимеры совместно с небiorазлагаемыми;
3. Выводить специальные микроорганизмы, способные разрушать пластик;
4. Заменять одноразовые пластиковые изделия многоразовыми;
5. Совершенствовать технологии газификации, пиролиза, инсинерации. [3]

В результате работы было установлено, что наиболее перспективным является сочетание 1, 2 и 5 путей, поскольку очевидно невозможно заменить весь используемый пластик на биоразлагаемый, но в то же время необходимо решить проблемы, связанные с совместимостью биоразлагаемых компонентов с небiorазлагаемыми, что возможно путём модификации существующих методов и технологий производства, а также для материалов, не поддающиеся вторичной переработке, остаётся применить 5 путь решения. Остальные пути представляются менее эффективными, поскольку в зависимости от обстоятельств могут быть причинами для других экологических проблем, например, специализированные микроорганизмы могут негативно повлиять на местную экосистему, замена изделий на многоразовые не решает проблему утилизации этих изделий.

#### Список литературы:

- [1] Волкова А. В. Рынок крупнотоннажных полимеров. Москва, Национальный исследовательский университет ВШЭ Центр развития, 2020.
- [2] Волкова А. В. Рынок утилизации отходов. Москва, Национальный исследовательский университет ВШЭ Центр развития, 2018.
- [3] Gharehdashli A., Mortazavi S., Rashidi H. Journal of Applied Polymer Science **137** (34), 48979 (2020).

**РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ  
МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕН ОКСИД-БЛОК-  
ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАН СОПОЛИМЕРА,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ГРАФЕНА**

Лямин В.П.<sup>1</sup>, Чепелева А.Д.<sup>1</sup>, Кузьминова А.И.<sup>1</sup>, Пенькова А.В.<sup>1</sup>, Дмитренко М.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
lyamin.vlad.322@gmail.com*

Одними из наиболее востребованных методов разделения и концентрирования являются мембранные технологии, которые относятся к процессам устойчивого развития (sustainable processes). Первапорация – мембранный метод, используемый для разделения жидких смесей низкомолекулярных веществ, является альтернативой традиционным методам разделения (дистилляции, ректификации) из-за таких преимуществ как экологичность, низкое энергопотребление, простота автоматизации и управления, возможность разделения азеотропных смесей без добавления промежуточных реагентов. Быстрое развитие первапорации требует поиска новых мембранных материалов и создания высокопроизводительных мембран на их основе. Одно из наиболее эффективных направлений для разработки новых мембранных материалов – это комбинирование свойств известных полимеров и их модификация углеродными наночастицами.

В представленной работе был синтезирован блок-сополимер на основе поли(2,6-диметил-1,4-фенилен оксида) (ПФО) и полидиметилсилоксана (ПДМС) и проведена его модификация наночастицами оксида графена. Синтезированный блок-сополимер и его композит с оксидом графена были использованы в качестве мембранного материала для создания новых высокоэффективных первапорационных мембран. Были изучены структурные характеристики разработанных мембран на основе ПФО-б-ПДМС сополимера методами ИК и ЯМР спектроскопии, атомно-силовой (АСМ) и сканирующей электронной (СЭМ) микроскопии. Транспортные характеристики разработанных мембран были оценены при первапорационной дегидратации этанола в широком концентрационном диапазоне. Было показано, что мембраны на основе блок-сополимера, модифицированного оксидом графена, обладали улучшенной удельной производительностью по сравнению с немодифицированной ПФО мембраной.

#### **Благодарности**

*Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-73-00043). Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

**ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ  
ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА**

Назаров И.В.<sup>1</sup>, Бермешева Е.В.<sup>1</sup>, Горлов И.В.<sup>1</sup>, Мишенина А.А.<sup>1</sup>, Соломатов И.А.<sup>1</sup>,  
Возняк А.И.<sup>1</sup>, Зарезин Д.П.<sup>1</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт нефтехимического синтеза  
им. А.В. Топчиева Российской академии наук, Москва  
vanuapaz@ya.ru*

Активное развитие промышленности на протяжении последних двух веков привело к значительному увеличению потребности в новых материалах. Широкие возможности по созданию макромолекул с определенной структурой и свойствами открывают возможности для их применения в различных областях промышленности. В частности, для использования в качестве межслойных диэлектриков были разработаны полимерные материалы, которые обладают низкой диэлектрической проницаемостью, высокой термостойкостью, низким поглощением влаги, адгезией к поверхностям и т. д. [1,2]. Схожие требования предъявляются для полимерных материалов, используемых в качестве газоразделительных мембран. Такие материалы должны обладать жесткой структурой, большим свободным объемом и т. д. [3]. Разработка новых полимерных материалов для использования в качестве межслойных диэлектриков и газоразделительных мембран направлена на создание структур с увеличенным свободным объемом. В этой связи большой интерес представляют полимеры на основе производных норборнена.

В настоящее время оптически-активные производные норборнена как мономеры для получения соответствующих полимеров слабо изучены. Целью настоящей работы является развитие подходов к получению таких производных, а также исследование зависимостей между структурой и свойствами. В данной работе осуществлен синтез различных классов новых соединений на основе молекулы норборнена, а также исследована их полимеризация. В ходе работы были изучены зависимости между структурой и свойствами полученных полимерных материалов. Систематическое изучение свойств данных представителей полинорборненового ряда позволяет сделать вывод о влиянии боковых заместителей на диэлектрические, газотранспортные и другие физико-химические свойства.

**Список литературы:**

- [1] Zhao X. Y., Liu H. J. *Polymer International*. **59** 597–606 (2010).  
[2] Karpov G. O., Alentiev D. A., Wozniak A. I., Bermesheva E. V., Lounev I. V., Gusev Y. A., Shantarovich V. P., Bermeshev M. V. *Polymer*. **203** 122759 (2020).  
[3] Финкельштейн Е. Ш., Бермешев М. В., Грингольц М. Л., Старанникова Л. Э., Ямпольский Ю. П. *Успехи химии*. **80** 362–383 (2011).

**Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-13-00428.*

## ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ O<sub>2</sub>/Xe

Маркова С.Ю., Жмакин В.В., Шалыгин М.Г.

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

Применение ксенона в профилактике и лечении заболеваний человека – одно из важных направлений современной медицины. В настоящее время Россия занимает лидирующие позиции по применению ксенона в медицине. Ксенон – уникальный ингаляционный анестетик, в отличие от других искусственно созданных анестетиков, ксенон как инертный газ абсолютно безопасен. Однако дефицитность и высокая стоимость Xe делает его использование для анестезии и ксенонотерапии доступным лишь ограниченному числу пациентов. Использование рекуперации Xe существенно сократит потери ценного газа, удешевит и сделает удобнее проведение операций и процедур с его использованием. Мембранные методы разделения газовых смесей благодаря компактности, лёгкости масштабирования и управления, непрерывности процесса и отсутствию реагентов представляются наиболее перспективными для применения непосредственно в пределах медицинских учреждений при рекуперации ксенона или проведении коррекции состава (переподготовки) ксенон-кислородной ингаляционной смеси во время её применения или после проведения процедур. Ввиду немногочисленных данных по переносу Xe в полимерах в работе проведена оценка проницаемости ксенона и селективности разделения пары O<sub>2</sub>/Xe (типичная смесь для анестезии и ксенонотерапии) для различных классов полимеров (включая полиимиды, полиолефины, полиацетилены, фтор-содержащие полимеры, полиалкилсилоксаны) с помощью расчетно-экспериментального подхода с использованием корреляционных закономерностей параметров газопереноса от таких свойств диффундирующих молекул как эффективное сечение и силовая постоянная потенциала Леннарда-Джонса [1]. Полученные результаты демонстрируют широкий диапазон изменения селективных свойств полимеров для пары O<sub>2</sub>/Xe с селективностью как в пользу одного компонента, так и другого. Таким образом, в результате мембранного процесса ксенон может быть сконцентрирован как в пермеате, так и в ретентате. Проведен расчёт характеристик мембранного процесса разделения смеси O<sub>2</sub>/Xe с использованием инструментов математического моделирования для наиболее перспективных кислород- и ксенон-селективных полимеров.

### **Список литературы:**

[1] *Malykh O.V., Golub A.Yu., Teplyakov V.V.* Adv. Coll. Interface Sci. **164**, 89 (2011).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №22-23-01069.*

## ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ И ХИТОЗАНА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ПОЧВЕННЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ

Титкина К.А.<sup>1</sup>, Ильясов Л.О.<sup>2</sup>, Панова И.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*МИРЭА – Российский технологический университет, институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва  
palionaya2015@yandex.ru*

Перспективу для решения проблем деградации почв за счет эрозии и дефицита в почвах влаги открывает возможность использования почвенных кондиционеров на основе интерполиэлектролитных комплексов (ИПЭК) [1]. Настоящая работа посвящена изучению взаимодействия ксантана и хитозана в виде ИПЭК для получения ионно-сшитых поликомплексов для стабилизации неструктурированного модельного грунта (кварцевого песка) и для улучшения его гидрофизических свойств. Ксантан и хитозан – природные биоразлагаемые полисахариды, что дает значительный выигрыш в экологическом аспекте в сравнении с синтетическими полимерами.

Свойства и структура полученных комплексов изучены методами электрофоретического светорассеяния, ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье, равновесного центрифугирования и СЭМ. Изучена устойчивость в водно-солевых растворах. Полимер-почвенные композиты (ППК) получены послойным нанесением растворов полиэлектролитов на поверхности почв. Механическая прочность ППК исследована методом пластометра Ребиндера.

Показано, что с увеличением содержания комплекса в песке прочность покрытия возрастает, что значительно повышают устойчивость почвы к внешним механическим воздействиям. Анализ кривых водоудерживания показывает, что наличие комплекса значительно повышает влагоудерживающие свойства песчаной почвы. Изучено, что ИПЭК устойчивы в растворах соли вплоть до 0,5 молярной, однако в 1 молярной растворяются в силу электростатического экранирования низкомолекулярными противоионами. На микрофотографиях композитов видны полимерные прослойки, способствующие скреплению частиц песка; они формируются не только в областях контакта твердых дисперсных частиц, но и между частицами. При этом сохраняется пористая структура, способствующая сохранению воздухо- и влагообмену в субстрате.

Таким образом, на основе ИПЭК ксантана и хитозана можно получать стабилизирующие полимерные композиции с целью рекультивации вышедших из использования деградированных территорий, свалок, борьбы с опустыниванием, противоэрозионной обработки земель и т.д.

### **Список литературы:**

[1] *Panova I.G., Khaydarova D.D., Ilyasov L.O., Umarova A.B., Yaroslavov A.A.ac. Colloids and Surfaces A. 590, 124504 (2020).*

### **Благодарности:**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-29-05036 мк.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИСИЛОКСАНОВ С ПОВЫШЕННОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Никольский Я.В., Фазылова Д.И.

*ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», г. Казань*

Диэлектрические электроактивные полимеры – это полимеры, способные изменять свою форму под воздействием электрического напряжения. Силоксановые эластомеры являются наиболее широко используемыми представителями данного класса, благодаря возможности работы в широком диапазоне температур, малой тенденции к эффекту Маллинза и старения [1]. Одно из самых перспективных направлений использования таких полимеров – создание искусственных мышц в робототехнике [2]. Однако полисилоксаны имеют достаточно низкое значение диэлектрической проницаемости, требуя использования высокого напряжения для активации материалов на их основе, что не позволяет раскрыть весь потенциал уникальных особенностей кремнийорганических каучуков. В следствии этого, разработка материала на основе силоксанового каучука с повышенной диэлектрической проницаемостью является актуальной задачей.

Существуют методы повышения диэлектрических характеристик полисилоксанов, основанные на модификации каучука полярными группами, добавлении нановолокон титаната бария и нанопластинок графена [3]. Известны также композитные материалы на основе полидиметилсилоксана и технического углерода [4]. Однако несмотря на то, что существующий методы решают поставленную задачу, большинство из них имеют ряд проблем и особенностей.

Целью работы является анализ существующих решений данной проблемы, а также анализ новых, потенциально более эффективных путей решения поставленного вопроса.

### **Список литературы:**

- [1] *Maffli L., Rosset S., Ghilardi M., Carpi F., Shea H.* Advanced functional materials. **25** (11), 1656-1665 (2015).
- [2] *Sun H., Liu X., Liu S., Yu B., Ning N., Tian, M., Zhang, L.* Journal of Materials Chemistry A. **8** (44), 23330 (2020).
- [3] *Wang Z., Nelson J. K., Miao J., Linhardt R. J., Schadler L. S., Hillborg H., Zhao S.* IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, **19** (3), 960-967 (2012).
- [4] *Al-Hartomy O. A., Al-Solamy F., Al-Ghamdi A., Dishovsky N., Iliev V., El-Tantawy F.* International Journal of Polymer Science (2011).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРОВОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ИМПЛАНТАНТОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM 3D ПЕЧАТИ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРА

Воробьев А.О.<sup>1</sup>, Дубиненко Г.Е.<sup>1</sup>, Акимченко И.О.<sup>1</sup>, Большасов Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск  
tpu@tpu.ru

В настоящее время хирургический метод лечения больных со злокачественными образованиями остается основным в терапии опухолей головы и шеи [1]. Современные требования к хирургическому вмешательству предполагают одновременное удаление опухоли и замещение утраченных структур индивидуально изготовленным имплантатом. Все имплантируемые изделия должны быть стерильны, поэтому особенно важно учитывать влияние стерилизации на имплантаты, изготовленные из полимерных материалов из-за их склонности к деформации при нагреве выше температуры стеклования. В работе исследовано влияние паровой стерилизации на полимерное изделие сложной формы из сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ), изготовленного с помощью FDM технологии 3D печати.

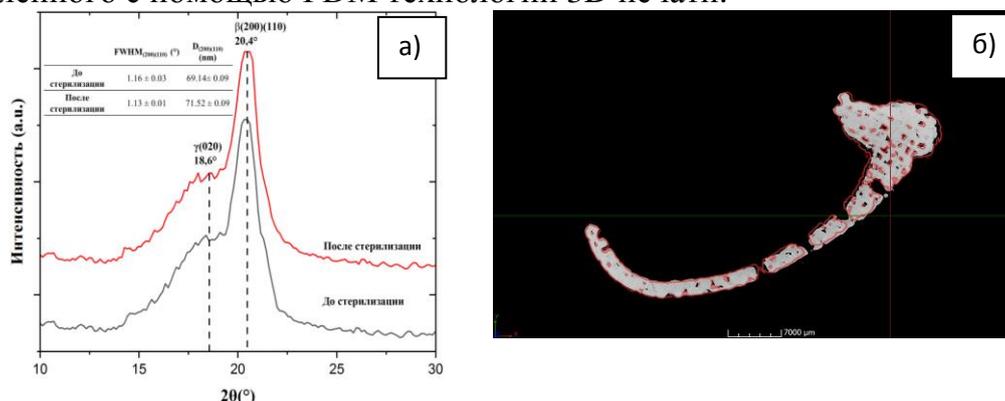


Рис. 1 - а) Рентгенограмма образца до и после стерилизации; б) КТ-изображение изделия (серая масса в белом контуре - срезы изделия до кристаллизации).

Методом рентгеновской дифракции установлена перестройка кристаллической структуры полимерного материала и ее обогащение сегнетоэлектрической  $\beta$ -фазой после стерилизации. Методом компьютерной томографии (КТ) выявлено, что процесс стерилизации индивидуального имплантата не вызывает значительных изменений его структуры и формы. Исследования *in vitro* продемонстрировали, что в процессе паровой стерилизации в имплантатах, изготовленных из сополимера ВДФ-ТеФЭ не образуется цитотоксичных соединений ухудшающих пролиферацию фибробластов.

### Список литературы:

[1] Кульбакин Д.Е., Чойнзон Е.Л., Буякова С.П., Кульков С.Н., Мухамедов М.Р., Чернов В.И., Буяков А.С. Голова и шея. **2**, 64-69 (2019).

## РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОТВЕРДИТЕЛЯХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПАУНДОВ

Фомичева И.И.<sup>1</sup>, Ломовской В.А.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>*МИРЭА-Российский технологический университет, г. Москва*

<sup>2</sup>*Институт физической химии и электрохимии им А. Н. Фрумкина РАН, г. Москва  
irina.fomichieva.99@mail.ru*

Исследование физико-механических характеристик в различных веществах основано на изучении параметров переходных процессов от одного равновесного или неравновесного состояния к другому. Динамические свойства этих переходных процессов оцениваются по характеристикам переходных функций. По интенсивности изменения параметров переходных функций можно получить определенную информацию о структуре исследуемых систем.

Таким образом, исследование взаимосвязи химическая природа, строение, структура – физико-механические характеристики – синтез материалов с заданными свойствами основан на теоретическом анализе параметров переходных функций  $F(t)$ , которые описывают процесс перехода исследуемой системы из неравновесного в равновесное состояние механического и термодинамического положения структурного равновесия. В данной работе впервые использована методика исследования спектров внутреннего трения  $\lambda = f(T)$  и температурной зависимости частоты  $\nu = f(T)$  свободно затухающего колебательного процесса, возбуждаемого в жидких компонентах эпоксидных композитов. Указанные спектры экспериментально получены для композитной системы ТЭТА, ПЭПА, изо-МТГФА. Установлены температурные интервалы локальной неупругости исследованных жидких отвердителей эпоксидных компаундов. Рассчитаны физико-механические и физико-химические характеристики исследованных систем по экспериментальным данным (энергия активации каждого из диссипативных процессов на спектре, интенсивность и температурное положение пиков потерь на спектрах, дефекты модуля сдвига, дискретные времена релаксации). Определены механизмы внутреннего трения для каждого, выявленного на спектре  $\lambda = f(T)$  локального диссипативного процесса, по величине интервала аномального изменения частоты колебательного процесса на температурной зависимости  $\nu = f(T)$ . Установлено, что практически все диссипативные процессы имеют релаксационный механизм внутреннего трения. Определены температурные интервалы зон локальной неупругости (исходя из рассчитанных значений дефектов модуля сдвига), приводящих к уменьшению модуля упругости исследуемых систем, в интервале температур от -150 до +150°C в целом.

### Список литературы:

- [1] *Ломовской В.А.* Физико-химическая механика и внутреннее трение, как теоретическая и экспериментальная основы синтеза новых материалов. XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, Екатеринбург (2016), 248.
- [2] *Ломовской В.А.* Научное приборостроение **29** (1), 33-46 (2019).

**СЕКЦИЯ 6**

***ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**3D-ПЕЧАТЬ ТЕРМООТВЕРЖДАЕМЫМИ ГИДРОГЕЛЯМИ НА  
ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И  $\beta$ -ГЛИЦЕРОФОСФАТА**

Вакулюк А.Ю., Розова Е.Ю., Зоолшоев З.Ф., Гофман И.В., Соколова М.П.,  
Смирнов М.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
lesha123480@gmail.com*

Актуальной задачей исследований в области 3D-печати является разработка «чернил» на основе гидрогелей, чувствительных к факторам внешней среды [1]. В последнее время особое внимание привлекают гидрогели на основе полисахаридов и, в частности, на основе хитозана (ХТЗ), благодаря его доступности и высокой реакционной способности в процессе сшивания. Структура и механические свойства гидрогелей зависят как от характеристик самого ХТЗ, так и от факторов окружающей среды, например, от pH и температуры [2]. Варьируя эти параметры, можно создавать составы для печати с оптимальными характеристиками, такими как низкая вязкость растворов при комнатной температуре, высокая скорость гелеобразования при нагревании и необходимые механические характеристики напечатанного материала. В данной работе была использована термочувствительная смесь ХТЗ с  $\beta$ -глицерофосфатом натрия, в которой гидрофобные взаимодействия и водородные связи между цепями ХТЗ играют ключевую роль в механизмах гелеобразования при повышении температуры [3]. Целью работы было определение состава, оптимального для применения в процессе 3D-печати. Были изучены зависимости вязкости от температуры водных растворов ХТЗ разной молекулярной массы (148, 164 и 900 кДа) и степени деацетилирования (86.5%, 92.4% и 68% соответственно), содержащих  $\beta$ -глицерофосфат натрия. Показано, что резкий рост вязкости при нагревании характерен для растворов ХТЗ с низкой молекулярной массой и высокой степенью деацетилирования. Однако вязкость исходного раствора при комнатной температуре слишком велика для экструзии. Оптимальными свойствами, такими как низкая вязкость исходного раствора и ее быстрый рост при нагревании характеризуется состав на основе ХТЗ с низкой степенью деацетилирования и большой молекулярной массой. На основе данного состава были получены образцы в виде лопаток, для которых определены механические характеристики: модуль упругости был равен 25 кПа, прочность – 22 кПа, а предельная деформация до разрушения 139%. Эти значения выше, чем, например, полученные для геля ХТЗ, сшитого с помощью диальдегида крахмала [4].

**Список литературы:**

- [1] *Li J. et al.* Materials Science and Engineering: R: Reports. **140**, 100, (2020).
- [2] *Rajabi M. et al.* Carbohydrate Polymers. **260**, 117768, (2021).
- [3] *Supper S. et al.* Expert Opin Drug Deliv. **11** (2), 249, (2014).
- [4] *Liu Q. et al.* Carbohydrate Polymers. **246**, 116586, (2020).

## 6-P-02

# ХОЛОДНЫЙ СПОСОБ КРАШЕНИЯ ШЕРСТИ

Исламова З.Ш., Набиева И.А., Миратаев А.А.

Институт текстильной и легкой промышленности Республика Узбекистан

г. Ташкент

*zulayho.islamova@mail.ru*

Данный способ используется в красильно-отделочном производстве, в крашении белковых волокон, в частности шерсти, и может быть использован в процессах холодного крашения волокон, пряжи, ткани и трикотажных изделий из шерсти. Крашение шерсти после подготовительных процессов ведется путем предварительной обработки раствором соли диазония с содержанием поверхностно-активного вещества. В качестве азосоставляющего вступает в реакцию боковой радикал аминокислоты триазина макромолекулы кератина белкшерстяного волокна. В качестве соли диазония используют раствор Диазоля оранжевого О с концентрацией 10 г/л. Обработку ведут в течение 15-20 мин. при рН=7÷8, температуре 20-25<sup>0</sup>С и модуле ванны 1:50. После чего следует промывка в растворе содержащего 1 г/л технического моющего средства (ТМС), при температуре 80<sup>0</sup>С, в течение 10-15 мин. Затем материал окончательно промывают и высушивают. В таблице приводятся колористические характеристики и прочностные показатели образцов шерсти, окрашенных холодным способом крашения с Диазоль Оранжевым О.

Таблица. Колористические характеристики и прочностные показатели окраски шерсти

Номер образцов	Цветовой тон, h*	Светлота, L*	Насыщенность цвета, C*	Координаты		Прочность окраски к, балл		
				a*	b*	мылу	поту	трению
1.	74.42	50,12	49,78	32,13	70,18	5/5/5	4/5/5	4/5
2.	70,25	54.49	43,74	25.32	62.23	5/5/5	4/5/5	4/5
3.	68.64	57.57	41,06	23.31	60.51	5/5/5	5/5/5	5/5

Исследование степени изменения цветовых характеристик шерсти после крашения проводили на лабораторном колориметре согласно методике [1] в стандартном излучении D<sub>65</sub>. Для удобной систематизации различных характеристик цвета и подбора гармоничных сочетаний цветов использовали системы цветовых кругов и цветовая модель L.a.b. Подобно географическим координатам - долготе, широте и высоте - значению цвета L\*, a\* и b\* дают возможность определять местонахождение цвета и передавать информацию о нём. Координата L\* характеризует светлоту, C\* - насыщенности, h - цветового тона, координата a\* - содержание красного или зеленого цвета, координата b\* - содержание желтого или синего цвета. Крашение шерстяной ткани холодным способом позволяет снизить энерго- и трудозатрат процесса, сохранности механических свойств материала, повысить прочностных показателей окраски.

### Список литературы:

[1] Инструкция по пользованию. Computer color matching system operation and maintenance manual. Korea industrial technology ODA. 79, 2012.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТОГО ЭФИРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ (ВОДОРАСТВОРИМОГО) В ПРОЦЕССАХ ШЛИХТОВАНИЯ И ПЕЧАТАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Набиева И.А., Йулдошева Д.Ш., Сашина Е.С.

*Институт текстильной и легкой промышленности Республики Узбекистан  
г. Ташкент  
yuldashevadiyora@mail.ru*

Основными компонентами шлихты и загустителей являются вещества, в качестве которых используются крахмалопродукты (картофельный, кукурузный и рисовый крахмал, пшеничная и ржаная мука). При использовании этих продуктов в шлихту обязательно вводят расщепители крахмала (кислоты, щелочи, окислители). В состав шлихты вводят также вспомогательные компоненты – гигроскопические вещества (глицерин) и мягчители (стеарин)[1]. Загущающие импортные вещества являются дорогостоящими. В связи с этим изыскание возможности целенаправленного использования эфиров целлюлозы как в процессе шлихтования, так и в качестве загустки при отделке пряж и тканей позволяет значительно сократить расход дефицитных дорогостоящих привозимых из-за рубежа компонентов (альгинаты, акрофил, крахмал и ее производные) [2]. При шлихтовании происходит поверхностное покрытие и пропитка основной пряжи. Шлихтованная нить состоит из 48,7% волокна и 3,4% шлихты остальное пространство между волокнами[3]. Одним из недостатков приготовления клеев для шлихтования из пищевых продуктов является его энергоёмкость и трата добавочных материалов на стабилизацию, нейтрализацию, расщепление, смягчение и противогнилостные материалы - антисептики. Также сам процесс приготовления клеев является трудоемким и требует особой внимательности и температурного режима.

Главным требованием загущающих компонентов для печатания является их вязкость и клеящие способности. Простой эфир хорошо обладает преимуществом из-за хорошей растворимости в холодной воде, образует достаточную клейкость для удержания и привязывания красителя текстильной основе. Также процесс расшлихтовки занимает минимальные траты в связи растворением гидроксо-эфира в холодной воде. В ходе исследования для улучшения физико-технических и химических свойств, водорастворимого эфира целлюлозы местного производства, проводился этап термического обогащения. Проведенными исследованиями изучены возможности применения простого эфира целлюлозы в процессе шлихтования. Показана возможность замены альтернативы природного клеящего вещества на изучаемый водорастворимый эфир целлюлозы.

### **Список литературы:**

- [1] Адизова Х.Р. Учёный XXI века, **4** (17), 34-36 (2016).
- [2] Назарова М. В., Романов В. Ю. Теория процессов подготовки нитей к ткачеству: Учеб. пособие, Волгоград, ВолгГТУ, 2006.
- [3] Набиева И. А., Набиев Н. Д., Йулдошева Д. Ш. Республиканская научно-техническая конференция, Ташкент (2022), 72.

**6-P-04**

## **РАЗРАБОТКА ФЕРМЕНТАТИВНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МНОГОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

Ким А.Л., Тихоненко С.А., Мусин Е.В., Дубровский А.В.

*ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук, Пущино  
kimerzent@gmail.com*

Целью работы является создание нового типа сенсорных систем, многократного использования, удобных для применения в медицинской диагностике и мониторинга биотехнологического производства. Такие сенсорные системы выполнены на основе полиэлектролитных нано- и микрокапсул (ПМК), закрепленных на твердом носителе и содержащие внутри своего пула каталитически активные ферменты. Комплекс, образованный таким путем, представляет собой диагностическую пластину (ДП).

Диагностическую пластину получали путем нанесения полэтиленимина (ПЭИ) на кварцевую пластину с последующей поочередной адсорбцией противоположно заряженных полиэлектролитов полистиролсульфоната (ПСС) и полиаллиламина (ПАА). На полученном полиэлектролитном комплексе закрепили ПМК с инкапсулированным ферментом – уреазой.

Полиэлектролитные микрокапсулы, содержащие фермент, получали путем поочередной адсорбции противоположно заряженных полиэлектролитов на составных микросферолитах  $\text{CaCO}_3$ -фермент, используемых в качестве ядра, которые затем растворяли в ЭДТА.

Активным компонентом ДП является уреазы, инкапсулированная в ПМК. Этот фермент катализирует гидролиз мочевины до углекислого газа и аммиака, который взаимодействует с салицилатом и гипохлоритом натрия с образованием окрашенного соединения, интенсивность окраски которого прямо пропорциональна концентрации мочевины. Структура полимерных слоев ДП полупроницаема, что позволяет сохранить доступ анализируемого субстрата к реакционным центрам фермента, одновременно фермент изолирован от действия протеолитического воздействия внешней среды. Таким образом данная диагностическая пластинка может использоваться для многократного анализа жидкостей без предварительной очистки анализируемого раствора.

Результаты, полученные при многократном применении диагностической пластины, показали, что свойства инкапсулированной уреазы сохраняются, независимо от количества инкубаций. Отклонения результатов не превышают порога в 8,75%, что полностью удовлетворяет требованиям МЗиСР РФ.

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ ПОЛИ-4-МЕТИЛПЕНТЕНА-1 НА ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Маркова С.Ю., Тепляков В.В.

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

Широкая область исследований посвящена изучению свойств гетерофазных полимерных систем (привитые, блок- и другие сополимеры, полимер-неорганические нанокомпозиты и т.д.). Представляется, что в гетерофазных полимерных средах заложен большой потенциал в варьировании газоразделительных параметров. В связи с этим появляется необходимость в оценке газоселективных свойств этих объектов исходя из свойств составляющих компонентов дисперсной системы и наоборот. В настоящей работе исследованы газотранспортные характеристики промышленно-выпускаемого частично-кристаллического поли-4-метилпентена-1 (ПМП) ( $T_{ст}=30^{\circ}\text{C}$ ) как двухфазной полимерной мембранообразующей среды. Особенностью ПМП является газопроницаемая кристаллическая фаза, возможность получения мембран без использования растворителей и их устойчивость к воздействию органических компонентов, что в совокупности с высокими показателями газопроницаемости позволяет рассматривать ПМП как один из перспективных полимеров для мембранного газоразделения. В работе представлены результаты экспериментального исследования проницаемости и диффузии He и C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> алканов в ПМП разной степени кристалличности ( $X_C$ ) в диапазоне температур от 0 до 80°C (ниже и выше  $T_{ст}$ ). Показано, что для He и CH<sub>4</sub> степень кристалличности слабо влияет на газотранспортные характеристики, а для C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> наблюдается снижение проницаемости с увеличением  $X_C$  в исследуемом диапазоне температур. Идеальная селективность разделения для CH<sub>4</sub>/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> увеличивается с увеличением  $X_C$ , а для пары C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>/CH<sub>4</sub> – уменьшается. Таким образом, изменением  $X_C$  и температуры можно значительно изменять уровень проницаемости и селективности для C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> углеводородов. В работе проведена оценка газотранспортных свойств аморфной и кристаллической фаз ПМП с применением теоретического подхода описания газопереноса в двухфазных системах на основе уравнений Фрикке и Хигучи. Теоретически было показано, что форма кристаллитов ПМП приближена к пластинам, полученные результаты были подтверждены данными РФА. Совокупность результатов работы позволяет проводить расчёт газотранспортных характеристик мембран на основе ПМП в заданных условиях при любой степени кристалличности для обоснованного выбора параметров материала и условий процесса при решении конкретных задач разделения.

### **Благодарности**

*В работе использовали оборудование Центра коллективного пользования «Новые нефтехимические процессы, полимерные композиты и адгезивы».*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛПИРОЛИДОНА И АКРИЛГИДРОКСАМОВОЙ КИСЛОТЫ

Михайлова И.В., Кудрявцева Е.В., Шалыгина В.В.

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

Природные, искусственные и синтетические полимеры широко применяются в косметических изделиях [1]. Они выполняют различные функции – регулируют вязкость, увеличивают водостойкость, улучшают солнцезащитные свойства косметических композиций и др. Независимо от назначения, к современным ингредиентам для косметических изделий предъявляются высокие требования [2]. В данной работе были исследованы свойства косметических изделий содержащих комплексы сополимера N-винилпирролидона и акрилгидроксамовой кислоты с  $Fe^{3+}$ , в качестве цветových добавок.

Установлено, что изучаемые комплексы обладают достаточной термической и химической стабильностью обеспечивающей возможность их ввода в процесс приготовления косметической композиции и создают ее однородное и равномерное окрашивание. Для визуальной оценки цвета изделий использовали цветовую камеру Judge II (Gretag Macbeth Spectroeye).

Спектральное исследование цвета косметических изделий с изучаемыми полимерными комплексами проводили на спектрофотометре Color I-5 (Gretag Macbeth Spectroeye). Измерения проводили в диапазоне длин волн 360-750 нм. Для количественной оценки цветových различий образцов измеряли коэффициенты отражения; определяли значения координат цвета в цветовом пространстве CIELAB при источниках изучения D 65 (дневное освещение, цветовая температура 6500 К), А (искусственное освещение, цветовая температура 2856 К), TL 84 (офисное освещение, цветовая температура 4100 К); рассчитывали индекс метамеризма [3]. Изучено влияние вкладов таких факторов, как – состав комплекса, способ ввода цветовой добавки, химический состав основы косметического изделия, концентрация цветовой добавки.

### **Список литературы:**

- [1] *Alves T. F. R. , Morsink M., Batain F., Chaud M. V., Almeida T., Fernandes D. A., da Silva C. F., Souto E. B., Severino P. Cosmetics 7(4). 75 (2020).*
- [2] *Barel A., Paye M., Maibach H. Handbook of cosmetic science and technology. N.Y., Informa Healthcare, 2009.*
- [3] *Медведев В.Ю. Цветоведение и колористика. Санкт - Петербург, СПГУТД, 2005.*

## ВЛИЯНИЕ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Мошков А.И., Осовская И.И.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий  
и дизайна Высшая школа технологии и энергетики  
moshkov.ai@yandex.ru*

В условиях разнообразных типов грунтов России и больших территорий, тема стабилизации и упрочнения грунтов играет важную роль. Одним из самых распространённых механизмов стабилизации грунтов является использование различных связующих для получения необходимых показателей механических и реологических свойств. В качестве таких полимеров используются материалы на основе цемента с добавлением камедей в качестве загустителей, гелеобразователей и стабилизаторов [1-3]. Однако на данный момент рецептуры таких материалов составляются эмпирически. Определение прочностных (прочность на изгиб и сжатие) показателей полученных материалов проводилось на гидравлическом испытательном прессе.

Таблица. Прочность на изгиб образцов от времени получения цементной смеси.

Образец	Прочность на изгиб, мПа		
	1 сутки	3 сутки	7 сутки
1	0,6	2,9	4,2
2	1,2	4,4	4,6
3	0,9	2,5	3,0
4	0	1,7	1,7
5	0,4	1,9	2,1
6	1	2,8	2,9

В результате исследования цементной смеси при оптимальном содержании ксантиновой камеди прочность на сжатие материала на седьмые сутки составила - 36 Мпа, при использовании гуаровой камеди - 25 Мпа. Следовательно, полученный материал, содержащий 0,3% ксантановой камеди отечественного производства можно рекомендовать для использования в технологии технической мелиорации для укрепления и стабилизации грунтов.

### Список литературы:

- [1] *Bozyigit I., Javadib A., Altuna S.* Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering **13**, 1160-1172 (2021).
- [2] *Bitar L.* Optimum Mixing Design of Xanthan and Gellan Treated Soils for Slope Stabilization for Weathered Shales and Glacial Tills in Nebraska. Lincoln, University of Nebraska, 2020.
- [3] *Lee S., Chung M.* Journal of Materials in Civil Engineering, **31** (11), 06019012 (2019).

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Мызников Д.Д., Кузьминова А.И., Дмитренко М.Е., Золотарёв А.А.,  
Пенькова А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург  
dan.muzyukov@gmail.com*

Для очистки воды от ионов тяжёлых металлов в настоящее время используются сорбционные методы, мембранные методы и экстракция. Наночистка – один из перспективных мембранных методов очистки воды, её ключевые преимущества – это экологичность, энергосбережение, высокая эффективность и компактность оборудования. Модификация полимерной мембранной матрицы неорганическим и/или органическим наполнителем (то есть создание мембраны со смешанной матрицей) позволяет существенно улучшить транспортные и физико-химические свойства мембран и получить мембранный материал с заданными свойствами.

В данной работе были разработаны новые мембраны на основе полимера карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), модифицированного металлорганическими каркасными структурами на основе цинка (Zn-MOFs, metal-organic frameworks): Zn(BDC)Si, ZnH<sub>2</sub>C<sub>8</sub>, Zn(BIM)<sub>2</sub>EtOH. Модификация Zn-MOFs приводит к улучшению характеристик полимерных мембран за счёт их пористой структуры, химической и термической стабильности, гидрофильных/гидрофобных свойств, влияющих на свободный объём и поверхность полимерных мембран. Транспортные свойства разработанных мембран были изучены в процессе наночистки модельного раствора электролита, содержащего ионы Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> и неочищенной сточной воды, содержащей ионы Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>. Было получено, что разработанные мембраны обладают высокой проницаемостью и коэффициентами задержания ионов тяжёлых металлов. Физико-химические свойства полученных мембран были изучены при помощи инфракрасной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, измерения углов смачивания и степени набухания. Было показано, что введение Zn-MOFs в матрицу КМЦ приводит к изменению структуры, физико-химических свойств и улучшению транспортных характеристик мембран.

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда [грант № 20-79-10064]. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Магнитно-резонансные методы исследования, Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Вычислительный центр СПбГУ, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

## ПОЛИМЕРНОЕ ЗАВОДНЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АМФОТЕРНОГО ТЕРПОЛИМЕРА

Мухаметгазы Н.<sup>1,2</sup>, Гусенов И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт полимерных материалов и технологий,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казхский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан  
iskander.gusenov@mail.ru

Увеличение добычи нефти - одна из основных задач нефтяной индустрии и закачка полимерных растворов в нефтяные пласты увеличивает добычу нефти за счёт увеличения охвата пластов воздействием [1]. Однако, в условиях высокой минерализации (более 250 г/л) вязкость частично гидролизованного полиакриламида (ЧГПА), который традиционно применяется для полимерного заводнения, резко снижается, что отрицательно влияет на вытеснение нефти из горных пород. Наши тесты показали, что амфотерный терполимер (АТП), синтез которого подробно описан в работе [2], увеличивает вязкость раствора с увеличением минерализации воды в диапазоне от 200 до 300 г/л.

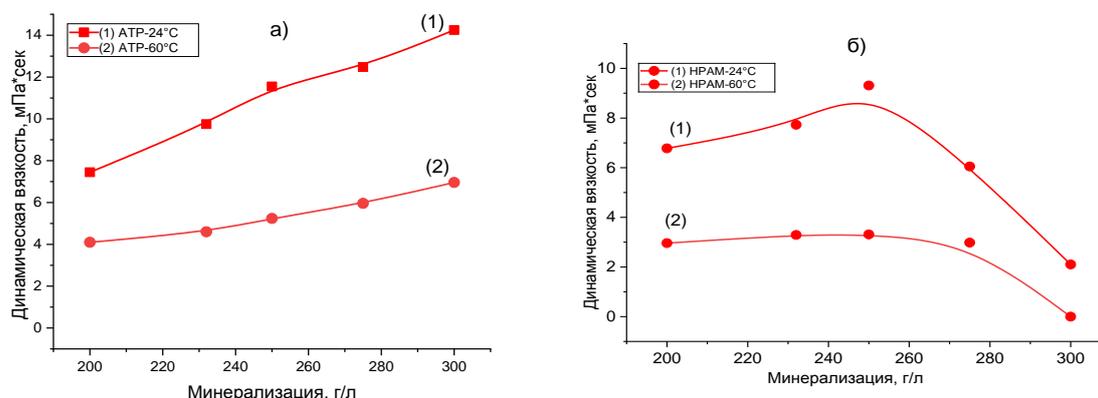


Рис. 1 - Вязкость 0.25% растворов АТП (а) и ЧГПА (б) в зависимости от минерализации воды и температуры.

Увеличение вязкости АТП объясняется антиполиэлектролитным эффектом [3]. Закачка 0.25% растворов ЧГПА и АТП в насыпные насыщенные нефтью песчаные модели позволила увеличить коэффициент вытеснения нефти на 18.5 и 28.5 % нефти, соответственно.

### Список литературы:

- [1] Sydanski R.D., Romero-Zeron L. Reservoir conformance improvement. Richardson, Society of Petroleum Engineers, 2011.  
[2] Gussenov I., Mukhametgazy N., Shakhvorostov A., Kudaibergenov S. Chem. Bul. of KazNU. **103** (4), 12-20 (2021).

### Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта AP09260574 при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

## ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ПЕРЕВОДА МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ЧАСТИЦ ГИДРОКСАПАТИТА В НЕРАСТВОРИМУЮ В ВОДЕ ФОРМУ НА УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА И НА ЕГО ТОКСИЧНОСТЬ

Новосад Ю.А.<sup>2</sup>, Нащекина Ю.А.<sup>2</sup>, Иванькова Е.М.<sup>1,2</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург  
novosad.yur@yandex.ru

Получение материалов для восстановления объема утраченной костной ткани является одним из наиболее востребованных направлений в восстановительной хирургии, в связи с ростом числа проводимых хирургических вмешательств [1].

Для получения костнопластических матриц на основе хитозана активно применяется метод лиофилизации растворов. Применение данного метода позволяет получить материал, обладающий обширной сетью пор, что позволит ускорить восстановление дефектов костной ткани при имплантации [2].

Применение частиц гидроксиапатита в качестве наполнителя костнопластического материала позволяет улучшать механические характеристики материала. Добавление частиц гидроксиапатита с соотношением кальций-фосфор равным 1.67 является типичным для костной ткани, что позволяет матрицам проявлять остеоиндуктивную активность и ускорять восстановление костной ткани в постоперационном периоде [3].

Матрицы на основе хитозана, полученные методом лиофилизации растворов являются растворимыми в водной среде. Для перевода хитозана в нерастворимую форму применяются методы обработки 10% раствором гидроксида натрия и термической обработки при температуре 100 °С. Было показано влияние различных методов перевода матриц в нерастворимую в водной среде форму на механические характеристики материала. А также исследовано влияние матриц, полученных различным методом перевода в нерастворимую форму на культуру стволовых клеток человека *in vitro*.

### Список литературы:

[1] Baldwin P., Li D., Auston D., Mir H., Yoon R., Koval K. Journal of orthopaedic trauma. **33**, 203-213 (2019).

[2] Kozusko S., Riccio C., Goulart M., Bumgardner J., Jing X., Konofaos, P. Journal of Craniofacial Surgery. **29**, 1788-1793 (2018).

[3] Lu, M., Chen, H., Yuan, B., Zhou, Y., Min, L., Xiao, Z., Zhang, X. Nanoscale. **12**, 24085-24099 (2020).

### Благодарности

Сотруднику Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН, к. х. н. Маслениковой Татьяне Петровне.

## РАЗРАБОТКА ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА С ТЕПЛОРЕГУЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

Прядезников Б.Ю.<sup>1</sup>, Москалюк О.А.<sup>1</sup>, Шиловских В.В.<sup>1</sup>, Попова Е.Н.<sup>2</sup>,  
Кенчадзе Г.Б.<sup>2</sup>, Бутузов В.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Лаборатория «Полимерные и композиционные материалы «Smart Textiles» МНИЦ «РО», г. Калининград*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений РАН, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*ООО «Микскап», Центр нанотехнологий и наноматериалов Республики*

*Мордовия, г. Саранск*

*pryadeznikov@bk.ru*

Создание новых образцов изделий сопровождается усложнением тактико-технических требований, предъявляемых к ним как в части повышения физико-механических свойств, так и в части ужесточения условий эксплуатации, связанных с ростом рабочих и экстремальных температур. Особый интерес привлекают материалы, которые подстраиваются под внешние условия: изменяют цвет, форму или размеры при определенном воздействии механического, температурного, электрического полей. Материалы с фазовым переходом способны накапливать и выделять большое количество тепла при переходе вещества из одной фазы в другую, в большинстве случаев — из твердого состояния в жидкое, и наоборот. В качестве таких материалов часто используются неорганические (гидраты солей, металлы) и органические материалы, среди которых наиболее оптимальными для применения считаются парафины [1, 2]. Обычно материалы с фазовым переходом применяют в виде крупных герметичных контейнеров различных форм и размеров, предотвращающих утечку материала в расплавленном состоянии. Но низкая способность передавать тепло (теплопроводность) большинства материалов с фазовым переходом привела к разработке и применению микрокапсул. Их можно добавлять в разные строительные конструкции, ткани и теплоносители. Такое решение позволяет сохранить материал в виде порошка, когда материал с фазовым переходом расплавлен. В работе проведен анализ микрокапсул с фазовым переходом, определены температурные диапазоны фазового перехода капсул и установлены образцы микрокапсул, подходящие для разработки волокнистого композита с теплорегулирующими свойствами. В дальнейшем в работе будут получены образцы композитов, проведены исследования их физико-механических и эксплуатационных свойств в различных напряжено-деформированных состояниях и широком диапазоне температур.

### **Список литературы:**

[1] *Cherunova I., Kornev N., Lukyanova E., Varavka V. Appl. Sci. 11, 5247 (2021).*

[2] *Рёсснер Ф., Рудаков О.Б., Альбинская Ю.С., Иванова Е.А., Перцев В.Т. Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета 64 (2012).*

### **Благодарности**

*Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И.Канта.*

## НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОГО СОСТАВА И ГРАЖДАНСКИХ ЛИЦ

Рахманов А.А.<sup>1</sup>, Симонова М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Высшая школа технологии и энергетики, г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург*  
*Andrey.rkh@yandex.ru*

Большинство видов деятельности человека сопряжены с рисками травматизма и угрозы жизни. Статистика травматизма по стране на производстве - 25 тыс. несчастных случаев в год, в быту - 70% от общего травматизма. В местах проведения военных конфликтов гражданские лица ничем не защищены и не подготовлены к таким условиям. Личный состав войск так же слабо защищен от основного поражающего фактора – осколков (до 80-95% убыли личного состава). Современные средства индивидуальной бронезащиты (СИБЗ) - изготавливаются из нетканного сверх высокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), закупаемого за границей. Из минусов - ненадежность поставщика, малое производство, высокая цена. Так же современные противоосколочные комплекты не имеют сплошной защиты и мало популярны из-за веса снаряжения. Требования к системам полимерной защиты: легкость, удобство, защита максимально возможной площади тела, способность поглощать энергию удара, простота производства. Для успешного противостояния внешним воздействиям недостаточно иметь большой запас прочности структуры, на пробитие которой может уйти кинетическая энергия снаряда, как с керамической плитой. Гораздо целесообразнее создать пакет сополимеров, которые будут полностью поглощать энергию удара за счет упорядоченной (ячеистой) структуры материалов, а также конвертировать кинетическую энергию в термическую.

В этой связи фотополимерные смолы являются доступным материалом для создания микро ячеистой структуры посредством 3д печати. Такие материалы при правильной закрепляющей фотополимеризации (дозасветки) светодиодами 405нм, мощностью излучения 1,25 мВт/кв.см, с запеканием в вакууме при температуре 45-60°C, способны выдерживать высокие нагрузки. Смола Hard-Tough от eSun - это фотоотверждаемая уретанакрилатная смола, с прочностью на разрыв от 60 МПа, что сопоставимо с промышленными пластиками. В работе определены зависимости повышения прочностных характеристик от времени запекания, температуры и давления. Так же проведен поиск оптимального состояния (решения) между прочностью и сохранением ударной вязкости материала, так как с ростом прочности материала падает его удлинение на разрыв. В связи с тем, что конструкция элемента защиты из полимера должна иметь максимальную поглощающую способность до разрушения его структуры, проведен поиск оптимальной толщины микро ячеистых сеток и их размерность. [1]

### **Список литературы:**

[1] *Zguris Z. How Mechanical Properties of Stereolithography 3D Prints are Affected by UV Curing, Formlabs Inc. (2017).*

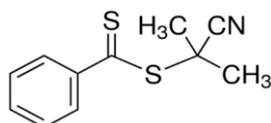
## ДИТИБЕНЗОАТЫ КАК АГЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПИ В СИНТЕЗЕ ВЯЗКОСТНЫХ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ ВЫСШИХ АЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ

Рашмакова А.Е., Шанвар С., Колякина Е.В., Павловская М.В.

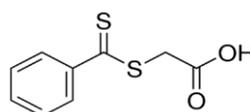
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, Россия  
kelena@ichem.unn.ru

Усовершенствование качества масел является первоочередной задачей нефтехимии и нефтеперерабатывающей промышленности. Один из эффективных путей улучшения эксплуатационных характеристик и срока службы минеральных масел заключается во введении различных присадок. Среди широкого ассортимента присадок особо выделяют полимерные присадки на базе полиалкилметакрилатов (ПАМА), основное назначение которых – улучшение вязкостно-температурных свойства масел.

Нами разработан метод получения вязкостных присадок на основе ПАМА с четко заданными молекулярно-массовыми характеристиками. В основе данного метода лежит подход обратимой передачи цепи (ОПЦ). В качестве регуляторов полимеризации были выбраны два ОПЦ-агента: пропил-2-цианодитиобензоат (ПТБ) и S-(тиобензоил)тиогиликолевая кислота (ТТК), представленные на схеме. Синтез полимеров осуществлялся в присутствии 0.01 моль/л традиционного радикального инициатора динитрила азоизомасляной кислоты (ДАК) при температуре 80°C.



ПТБ



ТТК

### Схема

Наиболее эффективным ОПЦ-агентом полимеризации высших эфиров метакриловой кислоты является ПТБ, в его присутствии процесс полимеризации реализуется в контролируемом режиме. Установлено, что молекулярная масса синтезированных ПАМА линейно возрастает с увеличением конверсии. При этом коэффициенты полидисперсности образцов полимеров составляют значения 1.16-1.33. Варьирование концентрации ПТБ и времени полимеризации позволяет получать полимеры с различными молекулярными массами, что является важным преимуществом при создании вязкосных присадок маслам на основе полиалкилметакрилатов.

Выявлено, что низкомолекулярные полимеры, полученные в присутствии ПТБ, характеризуются более высокой стабильностью к термической, термоокислительной и механической деструкции.

### Благодарности

Работа поддержана грантом Нижегородской области в сфере науки технологий и техники (№ 316-06-16-30a/22).

**СОСТАВ ВАРОЧНЫХ РАСТВОРОВ ПОСЛЕ ПЕРОКСИДНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ТОПИНАМБУРА**

Ромашева М.М., Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,  
г. Санкт-Петербург  
rita.romasheva@gmail.com*

Одним из видов перспективного нетрадиционного сырья является топинамбур. В настоящее время большая его часть (в частности, только клубни) идёт на производство инулина и кормов для домашнего скота, а вегетативная часть является отходом. Однако, наиболее рационально его комплексное использование. Целью работы было проведение пероксидной делигнификации вегетативной части топинамбура с исследованием состава варочных растворов. Отработанный раствор получен в результате обработки вегетативной части топинамбура 9% пероксидом водорода в присутствии и отсутствие лаурилсульфата натрия (АПАВ) при температуре 80°C в течении 2х часов с гидромодулем 1:20. Эксперимент проводили для образцов с предварительной экстракцией в течение двух часов водой и раствором АПАВ. При предварительной экстракции лаурилсульфатом натрия расход  $H_2O_2$  на окисление меньше, так как экстрактивные вещества удаляются при действии АПАВ. При использовании АПАВ на окисление затрачивается около 3-4% пероксида. Оставшийся  $H_2O_2$  можно использовать повторно. При предварительной экстракции водой удаляются почти все экстрактивные вещества, что приводит к лучшей доступности волокна для действия  $H_2O_2$ . При этом наблюдается увеличение фракции мелкого волокна. Наибольшее количество органических веществ выделяется при предварительной экстракции материала водой в течении 2х часов. Предварительное набухание улучшает диффузию пероксид ионов к внутренней поверхности материала, но лаурилсульфат натрия ухудшает доступ пероксид-ионов к волокну, адсорбируясь на его поверхности. При окислительной пероксидной варке не происходит выделения лигнина в раствор. Все вещества в отработанном варочном растворе находятся в коллоидном виде, система гетерогенна. Предварительная экстракция лиурилсульфатом натрия в течении двух часов не оказывает значительного влияния на соотношение гомогенной и гетерогенной частей. Предварительная обработка водой приводит к увеличению количества растворенных экстрактивных веществ до 50%. Обработка пероксидом с добавлением ДДСН заметно увеличивает долю гетерогенной части до 75%.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ КАК МАТРИЦЫ БОРСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ С МЕДЛЕННЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ

Свищёва Н.Б.<sup>1</sup>, Успенский С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, Профсоюзная ул., 70  
svischeva\_nb@ispm.ru*

Для формирования крепких стеблей и быстрого роста растениям необходим бор. При этом, чрезмерное использование гранул борных соединений может иметь обратный эффект: многие виды растений чувствительны как к дефициту, так и к избытку бора в почве и воде [1]. Применение питательных смесей с медленным высвобождением позволит защитить рассаду от переизбытка бора, а плодоносящее растение - от нехватки элементов в более поздний период. Сейчас изучены немногие смеси полимеров с борной кислотой и её олигомерами: с полиэтиленом, полипропиленом, полидиметилсилоксаном. Перспективным в этом направлении полимером может быть полимолочная кислота (ПМК) – биodeградируемый полимер, получаемый из молочной кислоты. В нашей работе показано влияние количества добавок борной кислоты на общий профиль высвобождения борной кислоты гранулами, полученными из расплавов борсодержащей ПМК, для водной системы. Ранее уже была опубликована статья, описывающая поликонденсацию молочной кислоты с добавкой борной кислоты, формирование гранул и процесс их гидролиза [2]. В этом исследовании было выяснено количество выделяющейся в воду борной кислоты относительно имеющейся в грануле до гидролиза. Содержание борной кислоты в грануле до и после гидролиза, а также количество выделяющейся в воду в процессе, было получено с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Чем больше в пластинке борной кислоты, тем быстрее она высвобождается из гранул. Тем не менее, высвобождение борной кислоты происходит постепенно и не одновременно. За 7 дней пластинки потеряли от 16 до 72 массовых процентов борной кислоты, следовательно, борсодержащая полимолочная кислота может быть использована как компонент удобрений пролонгированного действия.

### **Список литературы:**

[1] *Yoshinari A., Takano J.* Insights into the mechanisms underlying boron homeostasis in plants, *Frontiers in plant science*. **8**, 1951 (2017).

[2] *Svishcheva N.B., Khaptakhanova P.A., Kasatov D.A., Uspenskii S.A.* Russian Chemical Bulletin. **70** (9), 1725-1728 (2021).

### **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Центр исследования полимеров» ИСПМ РАН.*

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА В ПРОЦЕССЕ БИОДЕГРАДАЦИИ В ПОЧВЕ

Селезнева Л.Д.<sup>1,2</sup>, Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<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.com

Мульчирование как агротехнический приём получает все более широкое распространение в нашей стране. Для мульчирования применяют как природные, так и искусственные материалы, например, синтетические полимеры. Однако они могут привести к отрицательному экологическому эффекту, поэтому все большую актуальность приобретают биоразлагаемые материалы.

Биоразлагаемая пленка может быть получена из природных полимеров, включая крахмал, целлюлозу и полигидроксиалканоаты, и синтетических полимеров, в основном алифатических полиэфиров полимолочной кислоты (ПЛА), поли (ε-капролактон), поли (бутиленсукцинат), поли (бутилен-адипат-терефталат) и поли (бутиленсукцинат адипат).

В данной работе представлено исследование пленочных композиций ПЛА/ПБАТ и ПЛА/НК, как возможной альтернативы мульчирующим полиэтиленовым пленкам с повышенной способностью к разрушению в условиях окружающей среды.

Для исследования биодеструкции образцов был использован восстановленный грунт (ГОСТ 9.060). В результате испытаний в течении 3 месяцев отмечается помутнение всех образцов. Это связано с гидролитической деструкцией, которой подвержен полилактид [1-3].

В результате исследований показано, что в композициях ПЛА/ПБАТ степень кристалличности увеличивается с добавлением ПЛА в ПБАТ и меняется после выдержки в почве. Температура стеклования после 3 месяцев выдержки в почве сместилась в сторону больших температур: с 56-60 до 61,6-64 °С. Температура плавления чистых полимеров и их смесей изменялась от 143,8 до 147,2 °С.

В процессе деградации в почве образцов ПЛА/НК была заметна определенная закономерность изменений теплофизических показателей чистого ПЛА и образцов ПЛА/НК. Значения температур плавления ПЛА, стеклования и холодной кристаллизации увеличились, и эти температуры также снизились в композитах. Это было особенно заметно в образцах с содержанием NR 10 и 15 мас. %.

Способность полимерной системы к биоразрушению делает его перспективным для применения в качестве мульчи или защиты посевов. В дальнейшем планируется более детальное исследование влияния микроорганизмов почвы на композиции.

### Список литературы:

- [1] *Karpova, S.G., Tertyshnaya, Y.V., Podzorova, M.V., Popov, A.A.* Polymer Science - Series A, **63** (5), 515–525 (2021).
- [2] *Speranza V., De Meo A., Pantai R.* Polymer Degradation and Stability. **100**, 37-41 (2014).
- [3] *Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M.* Polymers. **13** (3), 461 (2021).

## ГИБРИДНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ПИРИДИЛФЕНИЛЕНОВОГО ПОЛИМЕРА И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФИКСАЦИИ CO<sub>2</sub>

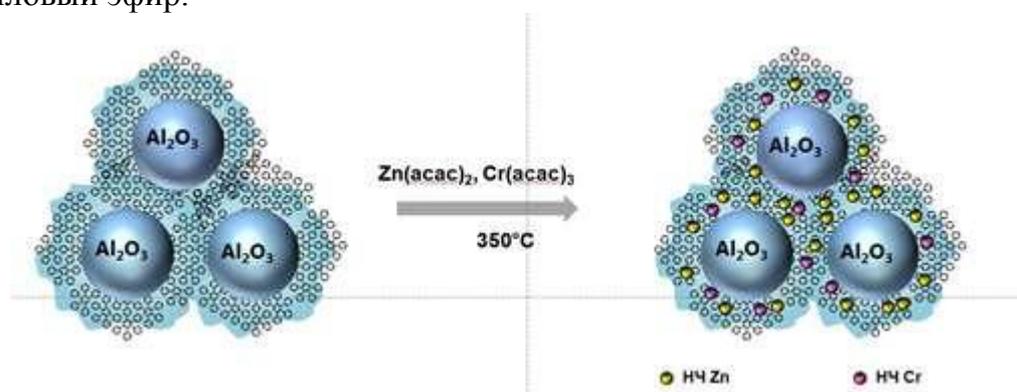
Сорокина С.А.<sup>1</sup>, Кучкина Н.В.<sup>1</sup>, Михальченко А.В.<sup>1</sup>, Долуда В.Ю.<sup>2</sup>, Матвеева В.Г.<sup>2</sup>, Сульман М.Г.<sup>2</sup>, Шифрина З.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук,  
г. Москва

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет, химико-технологический факультет,  
г. Тверь  
sorokinas@ineos.ac.ru

Эффективное преобразование CO<sub>2</sub> в продукты тонкой химии имеет большое экономическое и экологическое значение. В последние годы наблюдается стремительный рост числа разработок, связанных с каталитическим преобразованием CO<sub>2</sub> в химические вещества; при этом утилизация атмосферного CO<sub>2</sub> обеспечивает устойчивое решение текущих экологических проблем. Таким образом, CO<sub>2</sub> как прямой источник атома углерода обеспечивает легкий доступ к широкому спектру полезных молекул, одновременно решая проблемы, связанные с накоплением CO<sub>2</sub> в окружающей среде [1].

Нами разработаны новые гетерогенные каталитические системы на основе сверхразветвленного полимера и оксида алюминия для процессов фиксации CO<sub>2</sub>. Жесткая сверхразветвленная структура полимера способствует стабилизации Zn- и Cr-содержащих каталитических наночастиц, образующихся в результате высокотемпературного разложения ацетилацетонатов цинка и хрома в присутствии полимера и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, и обеспечивает доступность каталитических центров для субстратов. Катализаторы были протестированы в процессе конверсии диоксида углерода в важные органические соединения, такие как метанол и диметиловый эфир.



### Список литературы:

[1] De S., Dokania A., Ramirez A., Gascon J. ACS Catalysis **10**, 14147 (2020).

### Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект 22-43-02025.

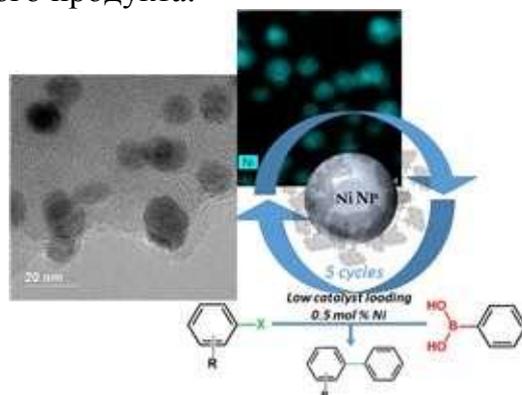
## НАНОКОМПОЗИТЫ НИКЕЛЯ И ПИРИДИЛФЕНИЛЕНОВОГО ПОЛИМЕРА КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ РЕАКЦИИ СУЗУКИ-МИЯУРА

Сорокина С.А.<sup>1</sup>, Кучкина Н.В.<sup>1</sup>, Белякина П.С.<sup>1</sup>, Кулакова М. П.<sup>1</sup>, Шифрина З.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, г. Москва  
sorokinas@ineos.ac.ru

Реакции кросс-сочетания представляют собой мощную и эффективную платформу для синтеза химических соединений [1]. Вместе с тем успешность применения реакций кросс-сочетания существенно зависит от используемой каталитической системы и даже небольшие изменения катализатора, например, лигандного окружения металла, могут приводить к значительному росту эффективности. Кроме того, замена дорогостоящего палладия на более дешевый никель является привлекательной перспективой для создания новых эффективных каталитических систем.

Нами были разработаны подходы к созданию каталитических систем с участием сверхразветвленных пиридилфениленовых полимеров и наночастиц (НЧ) никеля, проявляющих высокую активность в реакции кросс-сочетания Сузуки. НЧы были получены путем термического разложения ацетилацетоната никеля в присутствии полимера в качестве стабилизирующей матрицы. Композиты были проанализированы методами просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, порошковой рентгеновской дифракции, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Катализаторы проявили высокую активность в реакции Сузуки при низкой загрузке каталитического металла в реакции (0,5 моль%) и были толерантны к широкому кругу субстратов. Благодаря магнитным свойствам НЧ Ni, катализатор был отделен от реакционной смеси с помощью внешнего магнитного поля и повторно использован в пяти каталитических циклах, продемонстрировав сохранение высокого выхода целевого продукта.



### Список литературы:

[1] Brown D. G., Boström J. J. Med. Chem. **59**, 4443 (2016).

### Благодарности

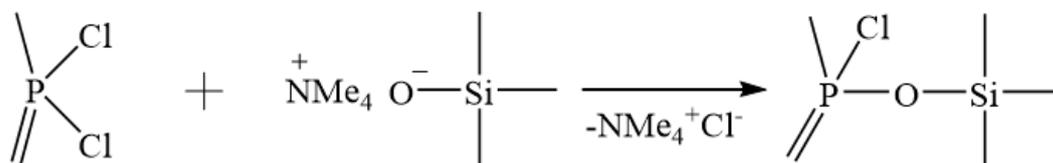
Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект 18-13-00332.

## ПОРИСТЫЕ ФОСФАЗЕН-СИЛОКСАНОВЫЕ НОСИТЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫСВОБОЖДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Терентьева Д.А.<sup>1</sup>, Чернышева А.И.<sup>1</sup>, Солдатов М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва  
terentievadasha013@gmail.com

Гибридные пористые материалы, содержащие как органические, так и неорганические фрагменты, представляют особый интерес для использования в качестве носителей биологически активных веществ [1]. Варьированием боковых фосфазеновых групп можно контролировать свойства получаемых продуктов [2]. Достоинством силоксановых соединений является биоинертность, а также их способность достигать больших значений пористости и удельной площади поверхности. Ранее были получены гибридные кремнийфосфорсодержащие материалы, однако в них связь между фосфором и кремнием была опосредована органическими мостиковыми соединениями. В частности, был получен продукт реакции между октавинилсилсесквиоксаном и гекса(4-бромфенокси)-циклотрифосфазеном, обладающий высокой адсорбционной емкостью [3]. В представленном исследовании новый сшитый пористый полимер был синтезирован путем прямого взаимодействия гексахлорциклотрифосфазена и октатетраметиламмонийсилана.



Пористость данного материала позволяет осуществлять загрузку биологически активных веществ, в то время как гидролитическая нестойкость продукта, обусловленная связью Si-O-P, обеспечивает его разложение в водных средах [4]. Полученный сшитый полимер был исследован с помощью ИК-спектроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота. Адсорбцию, гидролиз и кинетику адсорбции родамина 6G оценивали с помощью метода спектроскопии электронного поглощения. Таким образом полученный сшитый фосфазен-силоксановый полимер является перспективным носителем биологически активных веществ.

### Список литературы:

- [1] Férey G., Chem. Soc. Rev. **37**, 191–214 (2008).  
 [2] Gleria M., De Jaeger R. New Aspects in Phosphorus Chemistry V. Berlin, Heidelberg, Springer, 2005.  
 [3] Soldatov M., Liu H., Chem. Asian J. **14**, 4345–4351 (2019).  
 [4] Mutin P.H., Guerrero G., Vioux A., J. Mater. Chem. **15**, 3761 (2005).

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-23-00767).

## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТНОМ МАТЕРИАЛЕ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Третьяков А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург  
Tretartem@gmail.com*

Термоэлектрические генераторы (ТЭГ), способные преобразовывать тепловую энергию в электрическую, являются перспективным направлением в области экологичных источников энергии [1]. Оценить эффективность ТЭГ возможно помощью коэффициента мощности  $P = \alpha^2 \sigma$ , где  $\alpha$  — коэффициент Зеебека,  $\sigma$  — удельная проводимость. Неорганические полупроводники, такие как сильно легированные халькогениды свинца (PbTe, PbSe, PbS), являются основным материалом для изготовления ТЭГ [2]. Коэффициент мощности таких ТЭГ достигает  $\sim 400$  мкВт / (м·К<sup>2</sup>) в диапазоне температур 600-950 К. Изготовление ТЭГ на основе неорганических полупроводников сопровождается значительной стоимостью и сложностью. Кроме того, неорганические материалы для ТЭГ токсичны, что ограничивает их применение в повседневной жизни. В качестве альтернативы предлагается использовать нетоксичные полисопряженные полимеры, например, полианилин. Полианилин демонстрирует термоэлектрический эффект в диапазоне температур 200-380 К. Более того, полисопряженные полимеры характеризуются простотой синтеза, малой стоимостью и низким коэффициентом теплопроводности. Несмотря на отмеченные преимущества, проводящие полимеры обладают относительно невысокой проводимостью и малым коэффициентом Зеебека, вследствие чего не могут на равных конкурировать с неорганическими термоэлектрическими материалами [3]. Решением данной проблемы может стать композитный материал на основе углеродных нанотрубок (УНТ) и проводящих полимеров [4]. В настоящей работе были изготовлены образцы композитного материала полианилин/УНТ, исследованы изменения термоэлектрических параметров в диапазоне 290-410 К и влияние степени допирования полианилина на термоэлектрические характеристики композита. Цель исследования заключается в установлении оптимальных условий, при которых достигается наибольшее значение коэффициента мощности.

### Список литературы:

- [1] Булат Л.П., Сергиенко О.И., Савоскула В.А. Физика и техника полупроводников. **51**, 970–974 (2017).
- [2] Buslaev R., Galitskaya A., Loboda V. 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). 54–57 (2019).
- [3] Mateeva N., Niculescu H., Schlenoff J., Testardi L.R. Journal of Applied Physics. **83** (6), 3111–3117 (1998).
- [4] Zhang K., Davis M., Qiu J., Hope-Weeks L., Wang S. Nanotechnology. **23** (38), 385701 (2012).

**ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИГИДРАЗИДИМИДА И ЕГО  
МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА**

Тян Н.С.<sup>1</sup>, Файков И.И.<sup>1</sup>, Ростовцева В.А.<sup>1</sup>, Подешво И.В.<sup>2</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1</sup>,  
Полоцкая Г.А.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
tyan-nadezhda91@yandex.ru*

Поли(бихинолин-дикарбогидразид)-со-(бистримеллитимид) (ПГИ) и его металл-полимерный комплекс ПГИ–Cu(I), содержащие несколько видов функциональных групп: гидразидные, карбоксильные, амидные и имидные группы, а также бихинолиновые фрагменты в основной цепи исследованы как мембранный материал для решения относительно новой задачи по разделению смеси бензол–изопропанол. Анализ структурных особенностей мембран показал, что мембрана ПГИ–Cu(I) имеет фазово-разделенную структуру и увеличенный свободный объем.

Транспортные свойства ПГИ и ПГИ–Cu(I) мембран исследованы при первапорации смеси, содержащей от 20 до 80 мас.% бензола, включая и состав азеотропной смеси: 33.3 % изопропанола и 66.7 % бензола. Новые мембраны являются селективными по отношению к бензолу, поскольку благодаря функциональным группам, способным образовывать Н-связи, в мембранах формируются транспортные каналы, которые покрыты гидрофобным слоем из изопропиловых групп спирта и ароматических групп полимера. Этот факт обеспечивает предпочтительную диффузию гидрофобных и неполярных молекул бензола, чему способствует также ограниченная подвижность полимерной цепи. Объективная оценка полученных в настоящей работе результатов с литературными данными показала преимущество ПГИ и ПГИ–Cu(I) мембран в селективности 38 и 32 против 1.4 для полидиметилсилоксана.

**Благодарности**

*Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 18-79-10116) и гранта Президента РФ (№ МК-1280.2020.3).*

## ВЛИЯНИЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА НА РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН

Рябикова М.А.<sup>1</sup>, Тянь Н.С.<sup>1</sup>, Файков И.И.<sup>1</sup>, Ростовцева В.А.<sup>1</sup>, Сеньчукова А.С.<sup>1</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1</sup>, Полоцкая Г.А.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург  
tyan-nadezhda91@yandex.ru

В настоящей работе созданы композиты на основе поли[(4,4'-бисамид)-оксидифенилен-N-(п-фенилен)-4-фталамида] (ПАИ), модифицированного добавкой частично циклизованного полиакрилонитрила ( $\zeta$ ПАН), где часть нитрильных групп была преобразована в циклические последовательности, содержащие полисопряженные связи иминной и карбонильной групп в результате химической обработки металлоорганическими соединениями. Формование асимметричных мембран из новых композитов, содержащих 5, 10 и 15 мас.%  $\zeta$ ПАН, осуществляли методом инверсии фаз. Мембраны имели анизотропную структуру, состоящую из тонкого поверхностного слоя и пористой подложки, причём для мембраны из чистого ПАИ характерна пальцеобразная поровая структура, включение  $\zeta$ ПАН приводит к формированию губчатой структуры вблизи нижней поверхности. Содержание губчатой структуры увеличивается с ростом содержания  $\zeta$ ПАН в композите.

Совместимость ПАИ и  $\zeta$ ПАН за счет возможного межмолекулярного взаимодействия исследована с помощью FTIR и квантово-химических расчетов; установлена возможность образования гипотетических термодинамически выгодных надмолекулярных аддуктов. Включение  $\zeta$ ПАН в мембрану, приводит к уменьшению краевых углов смачивания для воды и этиленгликоля, что свидетельствует об улучшении гидрофильности мембран.

Транспортные свойства мембран исследованы в ультрафильтрационных тестах с чистой водой и водным раствором белков. Наилучшие свойства обнаружены для мембраны, содержащей 5 мас.%  $\zeta$ ПАН: задерживание бычьего сывороточного альбумина до 98 % и степень восстановления производительности ( $FRR$ ) до 72 %, что можно объяснить гидрофилизацией мембраны и поверхности пор. Более высокие значения  $FRR$  являются важным преимуществом, так как облегчают процесс регенерации и очистки мембран, а также снижают потери целевых компонентов.

### Благодарности

Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 18-79-10116). Авторы выражают благодарность ресурсным центрам СПбГУ: «Нанотехнологии», «Термогравиметрические и калориметрические методы исследования», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Наноконструирование фотоактивных материалов», «Вычислительный центр» и Криогенному отделу.

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА (ЗВЕЗДООБРАЗНАЯ МАКРОМОЛЕКУЛА – ИОННАЯ ЖИДКОСТЬ) НА СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАМИДНЫХ МЕМБРАН

Файков И.И.<sup>1</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1</sup>, Ростовцева В.А.<sup>1</sup>, Сорокина А.С.<sup>1</sup>, Зоолшоев З.Ф.<sup>2</sup>,  
Полоцкая Г.А.<sup>2</sup>

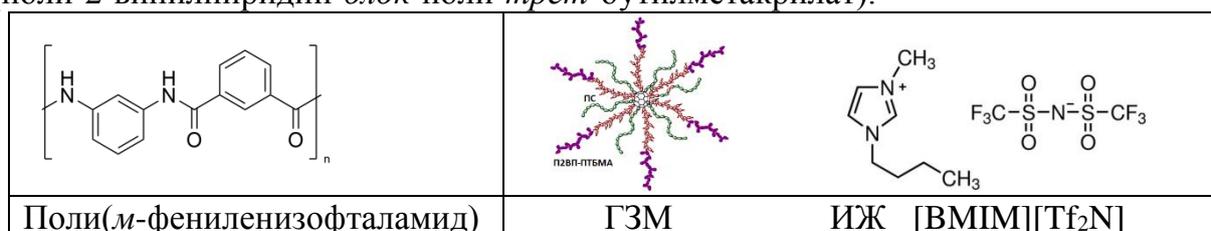
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,

г. Санкт-Петербург

st022544@student.spbu.ru

В настоящей работе поли(*m*-фениленизофталамид) (ПА) модифицирован комплексным наполнителем, состоящим из гибридной звездообразной макромолекулы (ГЗМ) и ионной жидкости [BMIM][Tf<sub>2</sub>N] (ИЖ) в соотношении 1:1 (мас.%). ГЗМ – это звезда с центром ветвления фуллерен C<sub>60</sub>, к которому ковалентно присоединены шесть лучей полистирола и шесть лучей сополимера (поли-2-винилпиридин-блок-поли-трет-бутилметакрилат).



Согласно СЭМ, однородная внутренняя структура ПА мембраны значительно меняется при введении ГЗМ и (ГЗМ:ИЖ). Методом АСМ показано, что добавки ГЗМ и комплекса (ГЗМ:ИЖ) увеличивают шероховатость поверхности а измерение краевых углов смачивания указывает на гидрофобизацию поверхности мембран. О наличии межмолекулярных взаимодействия в системе ПА, ГЗМ и ИЖ в растворе *N,N*-диметилацетамида свидетельствуют данные капиллярной вискозиметрии.

Новая ПА/(ГЗМ:ИЖ) мембрана обладает улучшенными транспортными свойствами при первапарации бинарных метанол–содержащих смесей с гептаном, толуолом и бензолом, чему способствует комплексный модификатор, который создает в мембране зоны специфического набухания, обеспечивающие транспортные каналы для избирательной проницаемости молекул метанола.

### Благодарности

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (РНФ), грант 18-79-10116.

Исследования проводились с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ, а именно междисциплинарного ресурсного центра «Нанотехнологии», ресурсных центров «Термогравиметрические и калориметрические методы исследования», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Криогенный отдел», «Методы анализа состава вещества», «Нанофотоника» и Вычислительного центра.

**ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫЕ ОКСИДЫ КАК МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ ДИФфуЗИОННЫХ МЕМБРАН**

Файков И.И.<sup>1</sup>, Пулялина А.Ю.<sup>1</sup>, Ростовцева В.А.<sup>1</sup>, Сапрыкина Н.Н.<sup>2</sup>, Полоцкая Г.А.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
st022544@student.spbu.ru*

Созданы новые композиты путем включения 1 и 2 мас.% слоистого перовскита оксидного типа  $\text{La}_{0.85}\text{Yb}_{0.15}\text{AlO}_3$  (LYA) в матрицу полиэфиримида Ultem® (ПЭИ). Композиты ПЭИ/LYA использовали для формирования плотных пленочных мембран и исследования в процессах газоразделения и первапорации.

Характер структурных изменений в пленках ПЭИ, модифицированных LYA, оценивали по изменению плотности, а также с использованием методов рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии. Показано, что мембраны ПЭИ/LYA обладают двухслойной структурой, содержащей тонкий слой, сильно обогащенный LYA (~5 мкм), который органично связан с основой (~40 мкм). Уменьшение краевых углов смачивания для воды и этиленгликоля на поверхности мембран, обогащенной LYA, свидетельствует о гидрофилизации ПЭИ/LYA мембран.

Газоразделительные свойства мембран ПЭИ/LYA определяли при измерении проницаемости  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$ . Коэффициенты газопроницаемости уменьшаются при увеличении содержания LYA в мембране, что коррелирует с повышением плотности и уменьшением свободного объема композитов. Идеальная селективность разделения газовых пар  $\text{H}_2/\text{N}_2$  и  $\text{O}_2/\text{N}_2$  увеличивается с ростом содержания LYA в мембране.

При первапорации смеси метанол–циклогексан, для композитов ПЭИ/LYA установлены улучшенные транспортные свойства, что обусловлено повышенной сорбцией метанола. Максимальная величина индекса первапорационного разделения получена для мембраны, содержащей 2 мас.% LYA.

**Благодарности**

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (РНФ), грант 18-79-10116.*

*Исследования проводились с использованием оборудования ресурсных центров СПбГУ, а именно междисциплинарного ресурсного центра «Нанотехнологии», ресурсных центров «Термогравиметрические и калориметрические методы исследования», «Рентгенодифракционные методы исследования», «Криогенный отдел», «Методы анализа состава вещества», «Нанопотоника» и Вычислительного центра.*

**АКРИЛАТЫ ХОЛИНА И 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ КАК ПОЛИМЕРИЗУЮЩИЕСЯ ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ**

Федотова В.С.<sup>1</sup>, Соколова М.П.<sup>1</sup>, Сивцов Е.В.<sup>2</sup>, Смирнов М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт,  
г. Санкт-Петербург  
fedotova.veronicka2016@yandex.ru*

Полимеризующиеся ионные жидкости (ПИЖ) представляют собой материалы, которые сочетают такие свойства ИЖ, как ионная проводимость, низкое давление пара, термическая стабильность, невоспламеняемость [1] со способностью к полимеризации с образованием полимерной цепи [2]. При этом в большей части работ изучаются ПИЖ с полимеризующимся катионом. При получении полимеров из ИЖ обычно используют метод радикальной полимеризации эфиров акрилатов или сульфонов [2]. Стоит отметить, что ИЖ находят применение в качестве растворителей природных полимеров, в частности, целлюлозы [3], что позволяет на их основе создавать УФ-отверждаемые «чернила» для 3D-печати с заданными реологическими характеристиками [4].

В данной работе были синтезированы ИЖ с полимеризующимся анионом: акрилат 1-бутил-3-метилимидазолия и акрилат холина. Для этого применяли методику на основе метода Фукумото [5]. Химическая структура подтверждена методами <sup>1</sup>H ЯМР- и ИК-спектроскопии. Термостабильность изучена методом термогравиметрического анализа. Данные дифференциальной сканирующей калориметрии показали, что для полученных ПИЖ характерно наличие температуры стеклования в диапазоне 175-190 К, и плавление – в диапазоне 300-350 К. Результаты исследования реологических характеристик показывают, что ПИЖ на основе холина обладают более высокой вязкостью по сравнению с ПИЖ на основе 1-бутил-3-метилимидазолия. Кроме того, обе ПИЖ демонстрируют неньютоновское реологическое поведение: наблюдается монотонное уменьшение вязкости при скоростях сдвига  $> 4 \text{ с}^{-1}$ . При этом ПИЖ на основе 1-бутил-3-метилимидазолия обладает лучшей растворяющей способностью по отношению к целлюлозе.

**Список литературы:**

- [1] Pillai P. *et al.* Journal of Molecular Liquids. **302**, 112553 (2020).
- [2] Yuan J. *et al.* Progress in Polymer Science. **38** (7), 1009 (2013).
- [3] Zhu S. *et al.* Green Chemistry. **8** (4), 325 (2006).
- [4] Isik M. *et al.* ACS Macro Letters. **2** (11), 975 (2013).
- [5] Fukumoto K. *et al.* Journal of the American Chemical Society. **127** (8), 2398 (2005).

**Благодарности**

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант №. 21-13-00111). Экспериментальные исследования частично проведены с использованием оборудования Инжинирингового центра СПбГТИ(ТУ).*

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИМИ КАРКАСНЫМИ СТРУКТУРАМИ, ДЛЯ НАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Чепелева А.Д.<sup>1</sup>, Кузьмина А.И.<sup>1</sup>, Золотарев А.А.<sup>1</sup>, Дмитренко М.Е.<sup>1</sup>,  
Пенькова А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,  
г. Санкт-Петербург  
chepeleva1999@yandex.ru

Наночелювтрация является перспективным методом для извлечения ионов тяжелых металлов из воды. По сравнению с традиционными методами разделения наночелювтрация, как и большинство мембранных методов, имеет ряд преимуществ: энергосбережение, экологичность, высокая эффективность и компактность оборудования. Создание мембран со смешанной матрицей, то есть модификация полимерной матрицы неорганическим и/или органическим наполнителем, позволяет существенно улучшить транспортные характеристики наночелювтрационных мембран.

В данной работе для очистки воды в процессе наночелювтрации были разработаны новые мембраны со смешанной матрицей на основе ацетата целлюлозы (АЦ) путем его модификации тремя металлоорганическими каркасными структурами, в которых в качестве металла был использован Zn (Zn-MOFs, metal-organic frameworks):  $ZnH_2C_8$ ,  $Zn(BDC)Si$ ,  $Zn(BIM)_2EtOH$ . Транспортные свойства разработанных мембран на основе АЦ и композита АЦ/Zn-MOFs были изучены в процессе наночелювтрации воды, модельного раствора (раствора электролита, содержащего ионы  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) и реального объекта (неочищенной сточной воды, содержащей ионы  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ). Для оценки эффективности модификации разработанные мембраны были изучены с помощью различных методов анализа (ИК, СЭМ, АСМ, измерения углов смачивания и пористости).

Пористые мембраны обладают высокими проницаемостью и коэффициентами задержания ионов тяжелых металлов (для модельного и реального объекта). Введение модификатора Zn-MOFs в матрицу полимера привело к изменениям структурных, физико-химических и транспортных свойств мембран.

### **Благодарности**

*Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-73-00043). Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ГРАФЕНА, ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПЕРВАПОРАЦИОННОЙ ДЕГИДРАТАЦИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

Чепелева А.Д.<sup>1</sup>, Лямин В.П.<sup>1</sup>, Кузьминова А.И.<sup>1</sup>, Пенькова А.В.<sup>1</sup>, Дмитренко М.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,  
г. Санкт-Петербург  
chepeleva1999@yandex.com

Этиленгликоль (ЭГ) высокой чистоты представляет собой ценное органическое вещество, которое широко используется в различных видах промышленности. Концентрирование ЭГ традиционными методами экономически нецелесообразно, трудоемко и энергоемко. Перспективным методом для решения данной задачи является первапорация – мембранный процесс для разделения жидких смесей низкомолекулярных веществ, который относится к процессам устойчивого развития благодаря своим преимуществам, таким как энергоэффективность, безотходность, экологичность и компактность оборудования. При правильном выборе мембраны с заданными характеристиками, данный метод позволяет легко и экономично решить проблему дегидратации ЭГ.

В данной работе для первапорационной дегидратации ЭГ были разработаны новые высокоэффективные мембраны на основе полифениленоксида (ПФО) путем модификации наночастицами оксида графена (ОГ). Для изучения влияния модификации ОГ на структурные и физико-химические характеристики разработанные мембраны были исследованы различными методами анализа (ИК-Фурье спектроскопии, ядерным магнитным резонансом, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, термогравиметрическим анализом, измерением краевых углов и степени набухания). Транспортные характеристики мембран были оценены при первапорационной дегидратации этиленгликоля в широком концентрационном диапазоне (10-90 масс.% воды). Было показано, что введение даже небольшого количества ОГ (до 0,9 масс.%) в матрицу полимера приводит к улучшению производительности модифицированных мембран, сохраняя высокую селективность по отношению к воде.

### **Благодарности**

*Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-73-00043). Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Геомодель, Магнитно-резонансные методы исследования, Инновационные технологии композитных наноматериалов, Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Вычислительный центр СПбГУ, Физические методы исследования поверхности, Наноконструирование фотоактивных материалов Санкт-Петербургского Государственного Университета.*

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК С СОДЕРЖАНИЕМ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕХОДНОЙ ВАЛЕНТНОСТИ НА ПРОЦЕСС БИОРАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Овчинников В.А.<sup>1,2</sup>, Масталыгина Е.Е.<sup>1,3</sup>, Пантюхов П.В.<sup>1,3</sup>, Попов А.А.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»,  
Высшая Инженерная Школа «Новые материалы и технологии», г. Москва

<sup>2</sup>ФИЦ ХФ «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н.  
Семенова» РАН, г. Москва

<sup>3</sup>ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля» РАН, г. Москва  
elena.mastalygina@gmail.com

В работе исследовались оксо-биоразлагаемые пленки из полиэтилена с добавлением оксо-добавки на основе соединений переходных металлов: плёнка полиэтилена низкой плотности с 5 мас.% добавки D2W (Symphony, Великобритания) и коммерческий оксо-биоразлагаемый полиэтиленовый пакет Billa [1]. В качестве образца сравнения использовали полиэтилен низкой плотности (LB7500N, LG Chem, Корея). Основной целью работы являлось установление влияния оксо-добавки на ускорение процесса биоразложения образцов материалов [2]. Исследование проводилось согласно двухстадийной методике для оксоразлагаемых пластиков ASTM D6954-18: окислительная деструкция под действием УФ-облучения с последующей биологической деградацией под действием почвенных микроорганизмов (модифицированный метод Штурма). В результате первой стадии испытаний (окислительная деструкция) образцы пленок с оксодобавкой фрагментировались и потеряли целостность. Предварительно окисленные образцы показали способность к биологическому разложению. При этом материалы с оксо-добавкой характеризовались степенью биоразложения 4-5% за 60 суток экспонирования. Таким образом процесс полного разложения материалов составит 3-4 года. Кроме того, материалы имели признаки биологического обрастания микромицетами. Референтный полиэтилен без добавки имел степень биоразложения менее 2%, что говорит о положительном влиянии оксо-добавки на основе соединений переходных металлов на способность полимерных материалов к биологическому разложению.

### Список литературы:

[1] Akhmetshina Z., Mastalygina E., Pantyukhov P. Key Engineering Materials, **887** KEM 123 (2021).

[2] Olkhov A.A., Mastalygina E.E., Ovchinnikov V.A., Monakhova T.V., Vetcher A.A., Iordanskii A.L. Polymers **13**(20) (2021).

### Благодарности

Масталыгина Е.Е. выражает благодарность финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-3573.2022.1.3, «Создание биоразлагаемых полимерных материалов для медицинских трубок на основе полимолочной кислоты и адипиновых производных»). Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования РЭУ им. Г.В. Плеханова.

## СОДЕРЖАНИЕ

Расписание.....	4
Научная программа.....	5
Список стендовых докладов.....	17
Пленарные доклады.....	28
Секция 1. Синтез и модификация полимеров	
Устные доклады.....	39
Стендовые доклады.....	74
Секция 2. Физико-химические свойства полимеров	
Устные доклады.....	111
Стендовые доклады.....	128
Секция 3. Полимерные композиционные материалы	
Устные доклады.....	158
Стендовые доклады.....	177
Секция 4. Биополимеры и полимеры медицинского назначения	
Устные доклады.....	197
Стендовые доклады.....	228
Секция 5. Теория и компьютерное моделирование	
Устные доклады.....	257
Стендовые доклады.....	273
Секция 6. Применение полимерных материалов	
Устные доклады.....	277
Стендовые доклады.....	295