

1(31)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Альфред Вернер родился в г. Мюлузе во французском Эльзасе. Он был старшим ребёнком в зажиточной католической семье. Его отец — Жан-Адам Вернер — много лет работал слесарем в паровом котельном цехе, а позже занялся животноводством, купив небольшую ферму. В семье Вернеров ценились бережливость и расчетливость.

В 1871 году после поражения Франции во Франко-прусской войне Эльзас стал частью Германии, проводилась активная политика германизации населения. Многие французы эмигрировали во Францию. Несмотря на это родители маленького Альфреда остались в Мюлузе и продолжали говорить по-французски.

В возрасте шести лет Альфред пошёл в школу, где проявились его удивительные способности. Однако из-за неусидчивости и необыкновенной самоуверенности оценки мальчика были ниже среднего, хотя, по словам учителя, он мог бы стать первым учеником, если бы только захотел[1].

Окончив начальную школу, Альфред в 1878 году поступил в Техническое училище, где, учась с увлечением и незаурядным трудолюбием, стал одним из лучших учеников. Именно в это время Вернер увлекся химией. Он стал проводить химические опыты дома и однажды устроил взрыв, разрушивший часть дома Вернеров, после чего перенес свою лабораторию в сарай за домом. Отец Вернера, несмотря на недовольство увлечением сына, не препятствовал ему, денег на карманные расходы не давал, и Альфред подрабатывал, чтобы покупать реактивы и химическую посуду.

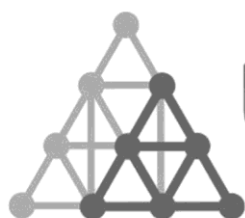
Когда Вернеру было восемнадцать лет, он написал своё первое научное сочинение, называвшееся «Сообщение о мочевой кислоте и в рядах теобромину, кофеина и их производных», где выдвинул довольно смелые гипотезы о структуре теобромину и кофеина. Хотя гипотезы не подтвердились экспериментами, Вернер удостоился похвалы директора химической школы в Мюлузе профессора Эмилио Наттинги, что ещё больше вдохновило его заниматься любимой наукой.

В октябре 1885 года Вернер был призван в прусскую армию и в течение года проходил военную службу в Карлсруэ в качестве «одногодичного, временноопределяющегося». Свободное от службы время Вернер посвящал прослушиванию лекций по органической химии в Высшей технической школе, а также посещал музыкальные и литературные вечера и студенческие вечеринки. По окончании военной службы Вернер окончил Техническое училище в Мюлузе с отличием.



*150 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
12 декабря 2016 г.*

ВЕРНЕР  
АЛЬФРЕД  
1866 - 1919 гг.



7universum.com  
**UNIVERSUM:**  
ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

*Научный журнал*

---

**Редакционная коллегия**

**Главный редактор:**

*Козьминых Владислав Олегович*, д-р хим. наук;

**Члены редакционной коллегии:**

*Безрядин Сергей Геннадьевич*, канд. хим. наук;

*Борисов Иван Михайлович*, д-р хим. наук;

*Гусев Николай Федорович*, д-р биол. наук;

*Ердаков Лев Николаевич*, д-р биол. наук;

*Козьминых Елена Николаевна*, канд. хим. наук, д-р фарм. наук;

*Кунавина Елена Александровна*, канд. хим. наук;

*Ларионов Максим Викторович*, д-р биол. наук;

*Левенец Татьяна Васильевна*, канд. хим. наук;

*Муковоз Пётр Петрович*, канд. хим. наук;

*Саттаров Венер Нуруллович*, д-р биол. наук;

*Сулеймен Ерлан Мэлсулы*, канд. хим. наук, PhD;

*Ткачева Татьяна Александровна*, канд. хим. наук;

*Харченко Виктория Евгеньевна*, канд. биол. наук;

*Яковишина Татьяна Федоровна*, канд. с.-х. наук.

Библиографическое описание: Матвеева А.Д., Москалец А.П., Фельдштейн М.М. Влияние катионов металлов на механические и адгезионные свойства адгезивов // *Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн.* 2017. № 1(31).

URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/4054>

Адрес редакции:

127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213

E-mail: [nature@7universum.com](mailto:nature@7universum.com)

[www.7universum.com](http://www.7universum.com)

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77 – 66239 от 01.07.2016

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 55878 от 07.11.2013

ISSN (печ.версии): 2500-1280

ISSN (эл.версии): 2311-5459

© Матвеева А.Д.,

Москалец А.П.,

Фельдштейн М.М. 2017

© ООО «МЦНО», 2017

**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ****ВЛИЯНИЕ КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ  
И АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА АДГЕЗИВОВ****Матвеева Александра Дмитриевна**

*студент 2 курса магистратуры, младший научный сотрудник, Институт нефтехимического синтеза  
им. Топчиева Российской академии наук,  
119991, РФ, Москва, Ленинский проспект, дом 29  
E-mail: [smatveiad@outlook.com](mailto:smatveiad@outlook.com)*

**Москалец Александр Петрович**

*канд. мат. наук, младший научный сотрудник, МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет,  
Кафедра физической химии,  
119991, РФ, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3*

**Фельдштейн Михаил Майорович**

*д-р хим. наук, профессор, МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет,  
Отделение физики твердого тела, Кафедра физики полимеров и кристаллов,  
119991, РФ, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3*

**INFLUENCE OF METAL CATIONS ON MECHANICAL AND ADHESION PROPERTIES  
OF ADHESIVES****Aleksandra Matveeva**

*2-year Postgraduate Student, Junior Research Scientist, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis of RAS,  
119991, Russia, Moscow, Leninsky Prospekt Street, 29*

**Aleksandr Moscalets**

*candidate of Mathematics, Junior Research Scientist, Lomonosov Moscow State University, Chemistry Department,  
Physical Chemistry Department,  
119991, Russia, Moscow, Leninskiye Gory Street, 1, b. 3*

**Mikhail Feldstein**

*doctor of Chemistry, Professor, Lomonosov Moscow State University, Physics Department,  
Branch of Solid State Science, Chair of Polymer and Crystals Physics,  
119991, Russia, Moscow, Leninskiye Gory Street, 1, b. 3*

**АННОТАЦИЯ**

Для создания катехол-содержащих полимеров разветвленной и линейной структуры может быть применен ряд подходов. Данные полимеры представляют собой удобную платформу для исследования роли катехольной группы в целом в создании адгезионной связи между полимером и субстратом. Одним из неоспоримых целевых применений подобных материалов являются адгезивы и герметики медицинского назначения – в данных полимерных системах катехольная группа способна усиливать адгезию ко влажным поверхностям различных живых тканей.

Поскольку для адгезии катехол-содержащих материалов большое значение имеет процентное содержание катехола в составе макромолекулы, ставится задача получения полимеров с мольным содержанием катехола в составе основной полимерной цепи не более 30%. Конечным применением данных о биомиметирующих полимерах является использование их в композиционных адгезионных материалах, чувствительных к давлению, поэтому отдельного внимания требует вопрос совместимости получаемых полимеров с другими компонентами адгезива.

Применение нековалентного сшивания за счет введения ионов многовалентных металлов позволяет изменять адгезионные и механические свойства гидрогелей на основе биоинспирированных катехол содержащих полимеров простым варьированием соотношения катехольных фрагментов и ионов металлов. Причем природа металла

значительным образом влияет на указанные свойства. Так, гидрогели, сшитые ионами кальция и магния могут применяться в качестве био-клеев, а ионами железа и никеля – для склеивания металлов. Поэтому исследование влияния природы и количества вводимых ионов многовалентных металлов является важной научной и практической задачей.

#### ABSTRACT

To create catechol-containing polymers of a branched and linear structure, a number of approaches can be used. These polymers represent a useful platform to study the role of a catechol group generally in the creation of an adhesive bond between the polymer and the substrate. One of the indisputable target applications of such materials are adhesives and sealants for medical use – the catechol group is able to enhance the adhesion to wet surfaces of various living tissues in polymer systems.

As far as for adhesion catechol-containing materials the percentage of catechol in macromolecule composition is of great importance, the task of producing polymers with a molar content of catechol in the main polymer chain consisting of not more than 30% is set. The end use of these biomimetic polymers is their use in composite materials of the pressure-sensitive adhesive; therefore, the issue of compatibility of polymers obtained with other components of the adhesive is required special attention.

The use of a non-covalent cross-linking due to the introduction of polyvalent metal ions allows to modify the adhesive and mechanical properties of hydrogels based on bioinspired catechol-containing polymers by the simple variation of the ratio of catechol fragments and metal ions. And the nature of the metal affects these properties significantly. Thus, hydrogels crosslinked with calcium and magnesium ions can be used as bio-adhesives, and iron and nickel ions – for metal bonding. Therefore, the study of nature and the amount of input multivalent metal ions influence is an important scientific and practical task.

**Ключевые слова:** адгезив, биоинспирированные, чувствительные к давлению адгезивы, катехольная группа, синтез, мономер, полимер.

**Keywords:** adhesive; bioinspired; pressure-sensitive adhesives; catechol group; synthesis; monomer; polymer.

В последнее время возрос интерес к исследованиям, сочетающим в себе фундаментальные аспекты химии и биологии. Одним из основных принципов в работах такого профиля стало изучение законов и “продуктов”, созданных природой, а также получение новых полностью синтетических функциональных материалов с применением полученных знаний.

Проводятся исследования, направленные на изучение механизмов адгезии морских моллюсков и ее силы в зависимости от присутствующих катионов металлов. Решение этой фундаментальной задачи позволит моделировать и синтезировать искусственные, чувствительные к давлению адгезивы (ЧДА), создающие прочное и стойкое адгезионное соединение в условиях различных сред. ЧДА - это особый класс вязкоупругих полимеров, которые образуют прочные адгезионные соединения с подложками различной химической природы после приложения небольшого внешнего давления в течение короткого промежутка времени.

Исследование особенностей молекулярной структуры биоинспирированных ЧДА, выявили зависимость их адгезионных свойств как от присутствия катехольных фрагментов в полимере, так и от катионов металла в среде, которые непосредственно образуют координационные связи. Координационные взаимодействия между катехольной группой полимера и ионом металла является основой для многочисленных биоматериалов.

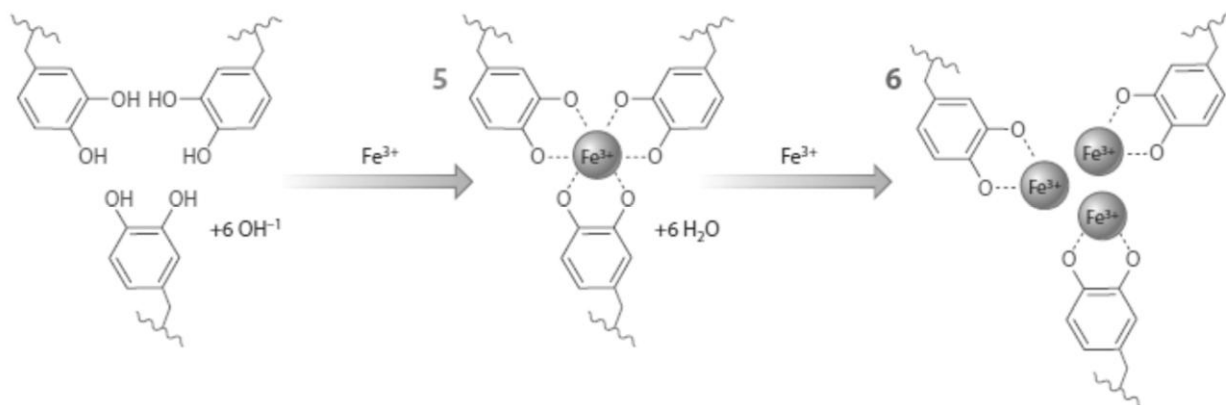
Целью данной работы стал синтез биоинспирированных адгезивов на примере катехол-содержащих полимеров, описание их структуры, состава и изучение влияния катионов металлов на механические и адгезионные свойства [5].

Не так давно была доказана важная роль металл-координационных комплексов в определении структурных и механических свойств неминерализованных биологических материалов. В число этих свойств входит твердость, прочность и стойкость к истиранию. Эти динамические свойства вдохновляют на применение синтетических материалов, созданных на их основе. Тем не менее, механика их координации и сшивки, которые заложили основу проектирования материала, еще не решена.

Ниже представлены исследования взаимодействия координационных комплексов между металлами и катехинами. Результаты показывают, что существует жесткая и прочная сшивка, которая находится в координационных связях. Это сильно зависит от координационного состояния и типа металла [4].

Многие биологические материалы с сильными механическими и клеевыми свойствами зависят от их иерархической композитной структуры. Например, Fe-катехолат (1,2-дигидроксибензол) комплекс в биссулах мидий используется как эффективный метод нековалентного сшивания аминокислот с помощью ионов металлов.

Взаимодействие осуществляется за счет нековалентного взаимодействия атомов кислорода, входящих в состав дигидроксибензенового цикла с атомами металла или другого вещества поверхности [1]. Катехольные группы склонны к комплексообразованию с ионами металлов, содержащихся в морской воде в виде солей (прежде всего, ионы  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) (рис. 1).



**Рисунок 1. Химическое взаимодействие с образованием комплексных соединений между катехольными группами ДОФА и ионом металла  $Fe^{3+}$ .**

В работе для исследований была специально выбрана кислая среда (pH-5), поскольку обычно не анализируют свойства гидрогелей на основе катехина при данном pH среды. В пользу использования кислой среды говорят следующие факты: (I) к минимуму сведено окисление боковой цепи катехола, (II), способность полимеров удерживать поликатионы из-за протонирования повторяющихся аминных звеньев, и сведен к минимуму гидролиз ионов некоторых переходных металлов [1].

В данных условиях добавление ионов металлов, таких как Ni (II), Zn (II), Nd (II), Eu (III) и Co (III), в растворы полимеров, привело к слабовыраженному изменению в цвете и в результате получились лишь вязкие растворы. Однако добавление ионов Fe (III) и Cu (II) вызвало сильные изменения в цвете раствора, что объясняется взаимодействием этих ионов и катехолов. Было обнаружено, что указанные ионы металлов также индуцируют гелеобразование водных растворов.

Имеющим веские основания объяснением этого редкого случая гелеобразования с ионами Fe (III) и Cu (II) даже при низких значениях pH является значительно более высокая плотность пирокатехина, который прививается этим полимерам.

*Синтез мономера 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида*

Синтез проводили по методике [2]

Смесь из 6.72мл (0.04моль) 3,4- диметоксифениламина и 4.24г соды (0.04моль) в хлороформе помещают в трехгорлую колбу, снабженную обратным холодильником, мешалкой и капельной воронкой. При охлаждении и интенсивном перемешивании по каплям прибавляют в течение 15 мин 3,2 мл (0.04моль) хлорангидрида акриловой кислоты. Перемешивание продолжают еще 2 часа при 65-70С [кипении].

После нагревания осадок [сода] отделяют фильтрованием, промывают хлороформом. Растворитель удаляется перегонкой в вакууме. После отгонки растворителя к остатку добавили воду и затем при интенсивном перемешивании добавили разбавленный раствор HCl до нейтрального pH. Затем экстрагиро-

вали раствор этилацетатом. 2 слоя разделили, органический слой отогнали. Затем к нему добавили смесь этилацетат и гексана (1:8), слили раствор с осадка (промыли раствором дважды по 50мл). Раствор отогнали. В результате получили вещество с выходом 55% (5.2г).

*Синтез полимера на основе н-бутилакрилата, акриловой кислоты и 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида*

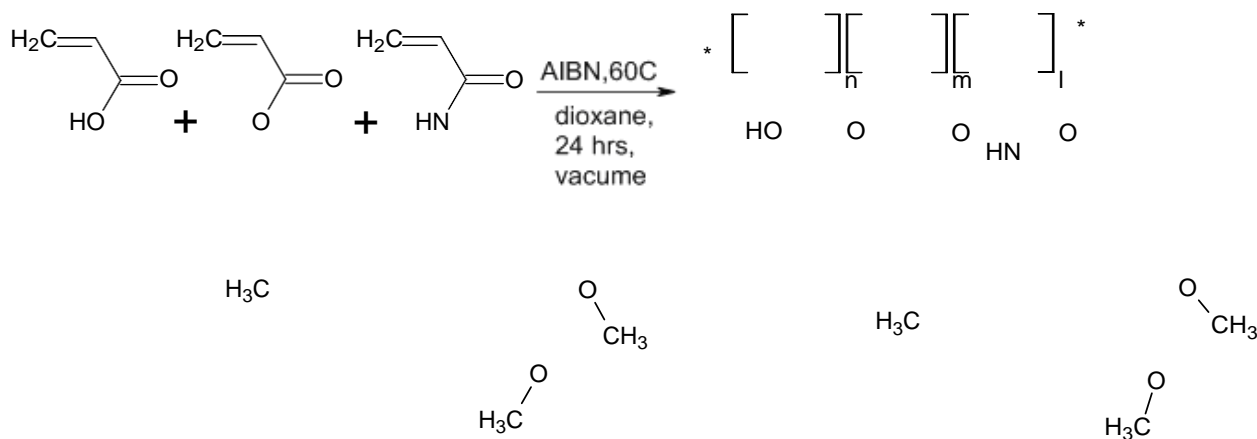
Радикальная гомо- и сополимеризация N-(3,4-диметоксифенил)- акриламида (ДМФЭА) характеризуется рядом специфических особенностей: образованием сшитых продуктов, ингибированием полимеризации при высоких содержаниях ДМФЭА, а также низкой растворимостью ДМФЭА в ряде органических растворителей. В этой связи синтез терполимера на основе ДМФЭА, н-бутилакрилата (БА) и акриловой кислоты (АК) является непростой задачей.

Сополимеризация этих мономеров в массе в присутствии вещественного инициатора N, N-азо-бис-изобутиронитрила (ДАК) приводит к образованию сшитого продукта, как за счет реакции передачи цепи на полимер (через бутилакрилатное звено), так и за счет возможного взаимодействия гидроксильных и карбоксильных групп. Для проведения терполимеризации была выбрана полимеризация в растворе. Выбор растворителя был основан на следующих соображениях:

- последний должен обеспечить гомогенность среды на всем протяжении процесса полимеризации;
- при выделении полимера растворитель должен достаточно легко удаляться из реакционной среды.

Поэтому после испытания растворимости ДМФЭА в ряде растворителей (ДМФА, метанол, вода, 1,4-диоксан) выбор был остановлен на 1,4-диоксане, который является также растворителем для БА и АК, а также ПБА и ПАК, кроме того, он легко удаляется посредством лиофилизации.

Таким образом, полимер был получена путем сополимеризации целевых мономеров в 1,4-диоксане при 60°C в герметичных стеклянных ампулах, с использованием динитрилаазо-бис-изомаляной кислоты (ДАК) как инициатора (рис.2).



**Рисунок 2. Схема получения полимера на основе *n*-бутилакрилата, акриловой кислоты и 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида**

В работе были использованы свежеперегранные БА и АК, инициатор ДАК, который перекристаллизовывали перед использованием. При стоянии диоксан образует пероксиды, поэтому его необходимо было очистить. Для очистки к диоксану добавили 5% (об.) концентрированной серной кислоты и 2 часа кипятили с обратным холодильником. После охлаждения к диоксану при энергичном встряхивании добавили твердый гидроксид калия до тех пор, пока его гранулы не перестали разрушаться. Затем диоксан отфильтровали от осадка, добавили металлический натрий и снова кипятили с обратным холодильником. Затем перегоняли ещё раз. Готовили реакционную смесь с дозированным количеством мономеров согласно таблице 1.

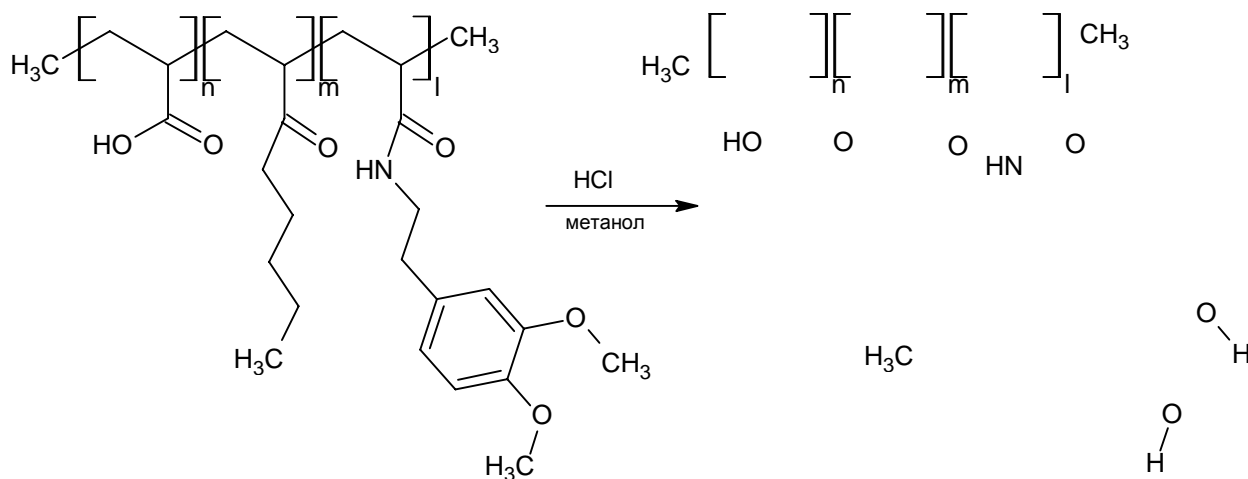
К этой смеси добавляли рассчитанное количество раствора ДАК ( $2 \times 10^{-3}$  моль/л) в диоксане (1.4 мл), так что суммарная концентрация ДАК в реакционной смеси составляла  $10^{-3}$  моль/л. Реакционные смеси заливали в ампулы, подвешивали к вакуумной установке, дегазировали путем повторения циклов замораживания–размораживания до остаточного давления  $5 \times 10^{-3}$  ммрт.ст. и ампулы запаивали. Ампулы помещали в термостат, разогретый до  $60^\circ\text{C}$ , на 24 ч. По окончании полимеризации реакционные смеси стали заметно более вязкими, но сохранили способность к течению. Ампулы вскрыли, поместили содержимое в предварительно взвешенную колбу, промыли бензолом, и полимер лиофильно высушили.

Для замещения метильных групп был проведен гидролиз в метаноле с соляной кислотой.

**Таблица 1.**

**Соотношение мономеров, использованных при синтезе**

	Н-БА	ДМФЭА	АК
Доля компонентов в смеси, %моль	85	10	5
Масса компонентов, г	0,626	0,07	0,034



**Рисунок 3. Схема гидролиза полимера**

Высушенный полимер представляет собой белую липкую пленку. Выход полимера составил: D-10 0,2766 г (конверсия 37,9%).



Результаты синтеза 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида

1-(3,4-дигидроксифенилен)-2-азоакриламид был синтезирован в одну стадию в соответствии со схемой, приведенной ниже.

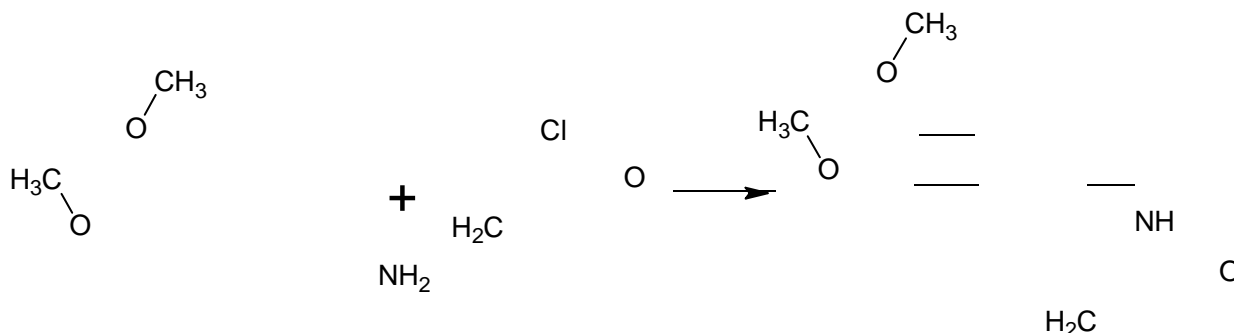


Рисунок 4. Схема синтеза 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{CDCl}_3$ , д, м. д.,  $J/\text{Гц}$ ) 2.82 (т, 2H,  $\text{CH}_2$ ); 3.59 (м, 2H,  $\text{CH}_2$ ), 3.87 (с, 6H,  $\text{CH}_3\text{O}$ ); 5.62 (д, 1H, =CH-); 5.73 (с, 1H, NH); 6.06 (м, 1H, =CH-); 6.27 (д, 1H, =CH-); 6.74 (д, 2H, Ar); 6.82 (д, 1H, Ar); ИК-спектр,  $\nu$ , см $^{-1}$ : 3286(NH), 2937( $\text{CH}_2$ ), 1659(CO), 1625(C=C), 1030(C-O-C).

На спектре ЯМР  $^1\text{H}$  полученного соединения (рис. 5) присутствует триплет протонов метиленовой группы при бензольном кольце при 2.82 мд, триплет протонов метиленовой группы при атоме азота при 3.47 мд, синглет шести протонов  $-\text{O}-\text{CH}_3$ , два дублета

5.62 мд и 6.26 мд и мультиплет 6.05 мд метиленовой группы при двойной связи при, а также дублетные сигналы трех протонов бензольного кольца при 6.73 мд и 6.8 мд.

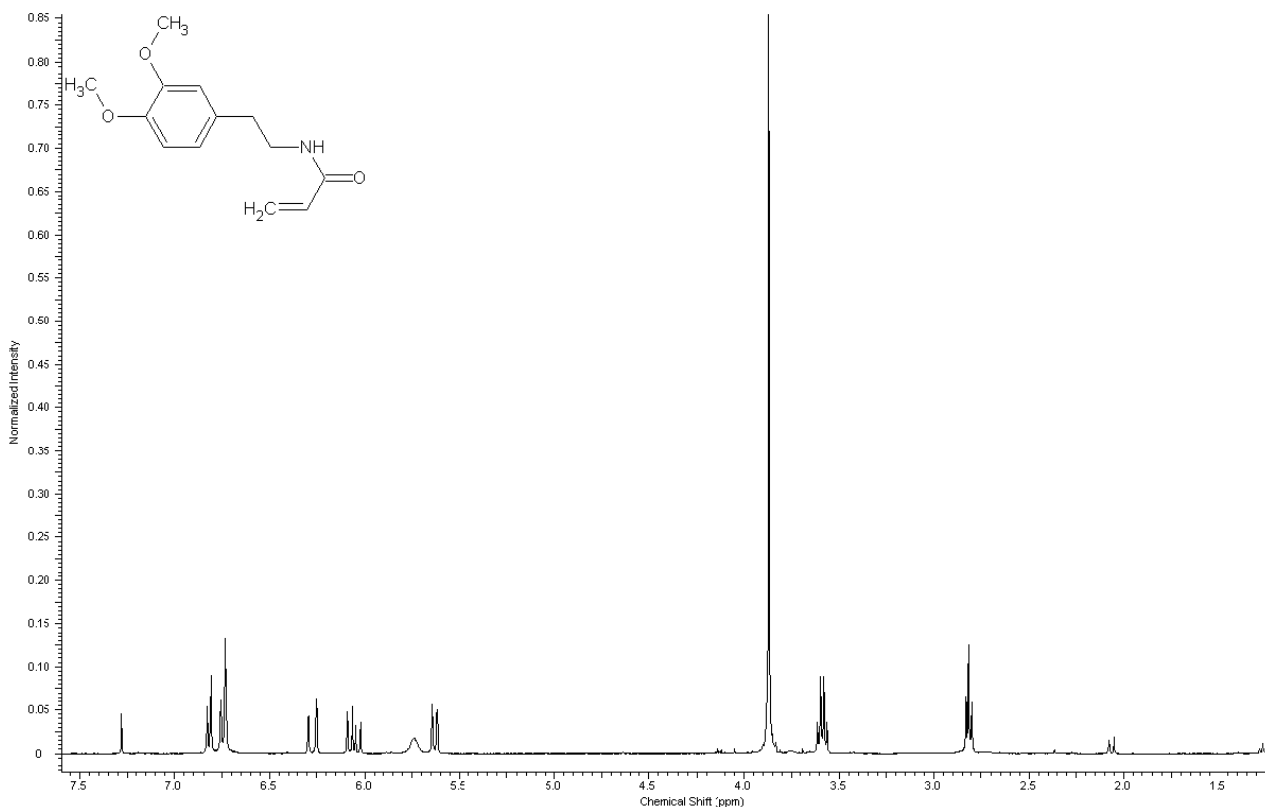


Рисунок 5. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  полученного 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида

На ИК-спектре соединения (рис. 6) присутствуют ярко выраженные сигналы колебаний  $\text{NH}$ -связи при 3286 см $^{-1}$ , сигнал валентных колебаний карбонильной группы при 1649 см $^{-1}$ , сигнал деформационных

колебаний  $\text{C}=\text{C}$  связи при 1625 см $^{-1}$ , а также обертоны колебаний связей в бензольном кольце при 1542, 1516, 1262, 1158 и 766 см $^{-1}$ .

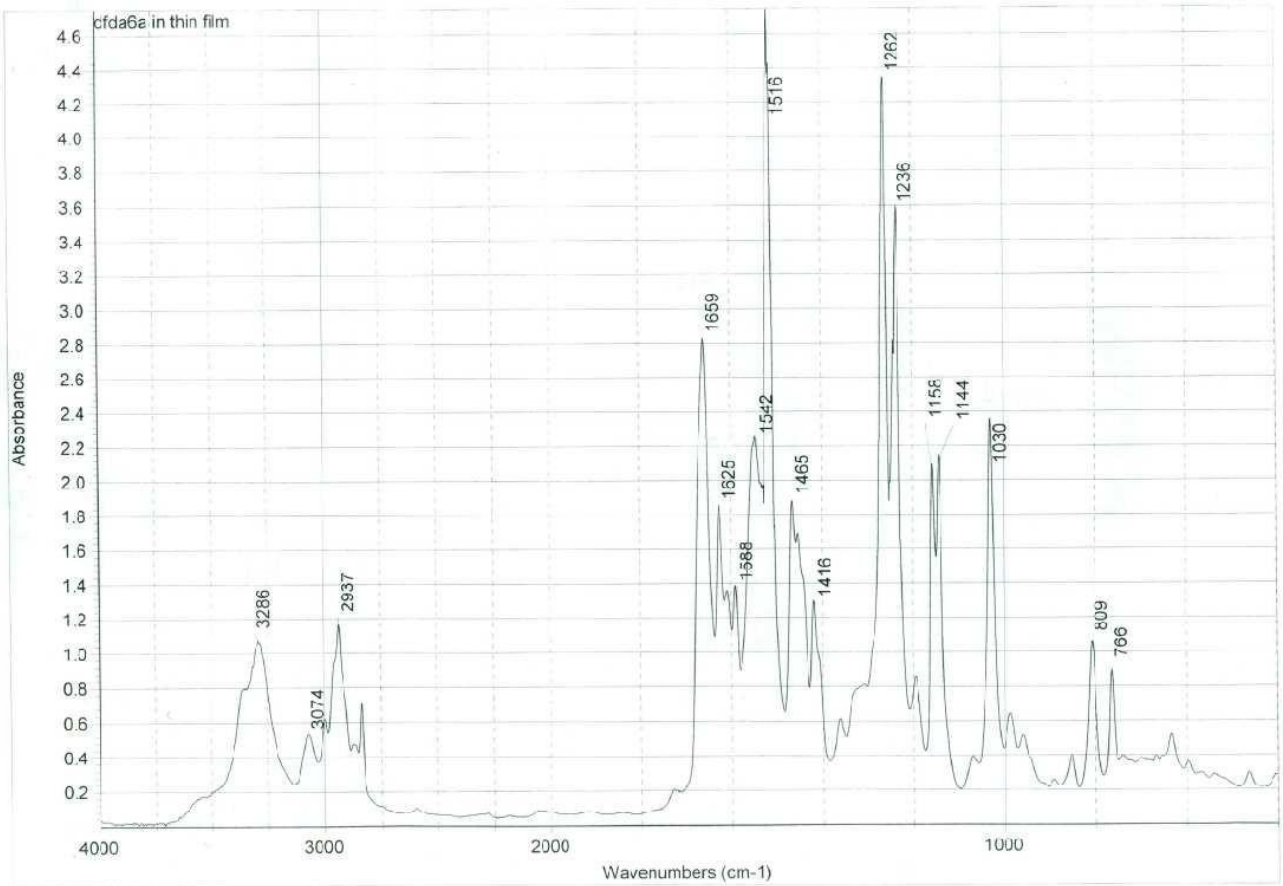


Рисунок 6. ИК-спектр 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида

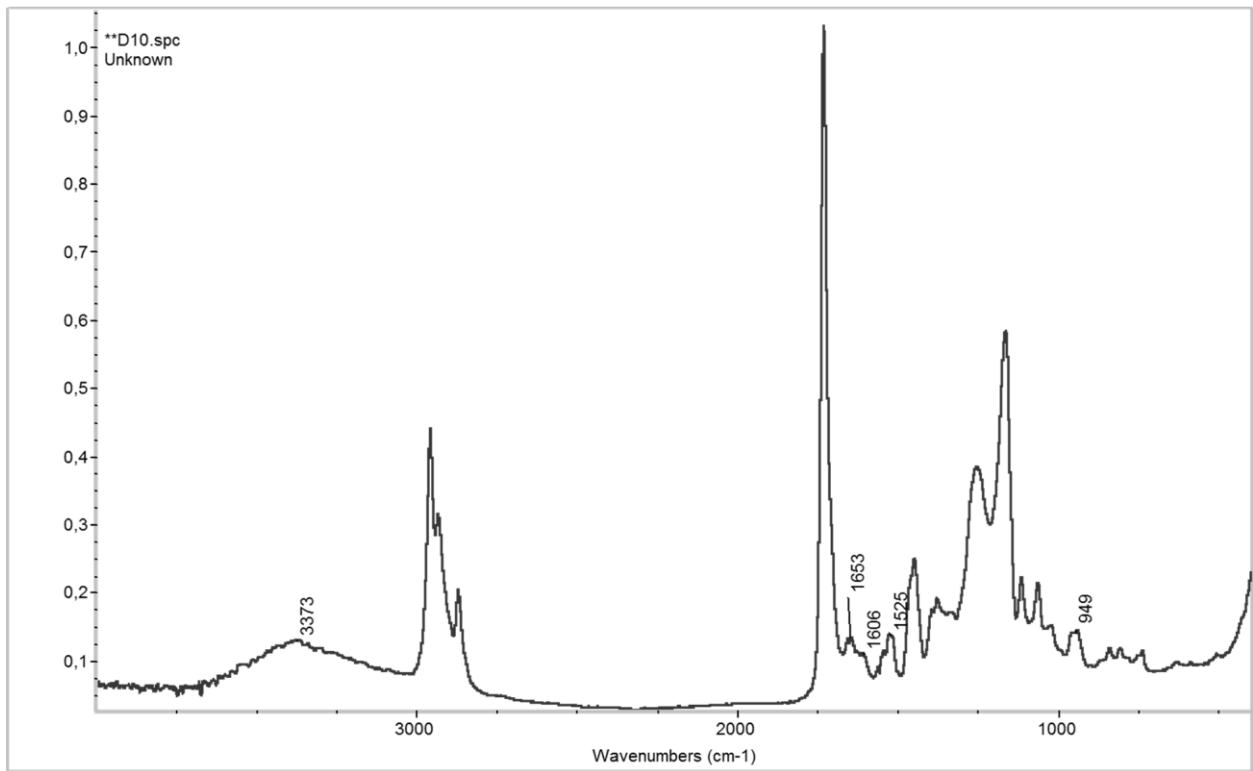


Рисунок 7. ИК-спектр полимера н-бутилакрилата, акриловой кислоты и 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида



Спектральные данные, как и данные элементного анализа, свидетельствуют о высокой чистоте полученного соединения.

*Результаты синтеза полимера н-бутилакрилата, акриловой кислоты и 1-(3,4-диметоксифенилен)-2-азоакриламида*

Сополимеризация мономеров в массе в присутствии ДАК приводит к образованию сшитого продукта счет передачи цепи на полимер (через бутилакрилатное звено). Поэтому, единственно возможным способом сополимеризации оказалась полимеризация мономеров в растворе. При этом исходили из следующих соображений: растворитель должен обеспечить гомогенность среды на протяжении всего процесса полимеризации, т.е. он должен растворять как исходные вещества, так и конечный полимер; растворитель должен достаточно легко удаляться из реакционной среды. После ряда проведенных экспериментов нами был выбран диоксан. Конечные, высушенные полимеры представляли собой белые, липкие пленки.

На ИК-спектре полимера (рис. 7) присутствует ярко выраженный сигнал валентных колебаний карбонильной группы при  $1690\text{ см}^{-1}$ , сигналы валентных и деформационных колебаний алифатических фрагментов при  $3800\text{ см}^{-1}$  и  $1450\text{ см}^{-1}$  соответственно. Также на спектре присутствует небольшой пик валентных колебаний двойной связи при  $1606\text{--}1653\text{ см}^{-1}$  относящиеся к мономеру, не вступившему в реакцию. Стоит отметить, что все характеристические полосы, которые можно отнести либо к гидроксильным, либо к амидным группам на спектре либо не присутствуют, либо выражены крайне слабо. Это указывает на ассоциативный характер присутствия катехольных групп в полимерной цепи.

*Адгезионные свойства синтезированного полимера*

Адгезионные характеристики полимеров оценивали методом зондирования липкости. За величину адгезии принимали работу, затрачиваемую на разрыв адгезионного соединения каждого исследуемого образца с твердым субстратом (сухое стекло). Каждое адгезионное соединение было охарактеризовано в максимуме кривой в температурном интервале от  $25\text{--}28^\circ\text{C}$  до  $80\text{--}90^\circ\text{C}$ .

Для оценки влияния ионов кальция на величину работы адгезии был синтезирован полимер и проведено исследование его адгезионных свойств в чистом виде и в присутствии  $\text{CaCl}_2$ .

На данный момент известно крайне мало свидетельств об исследовании адгезионных свойств катехол-содержащих биоинспирированных адгезивов в режиме одноосного растяжения до разрыва [3]: наиболее частыми методами, к которым прибегают исследователи для описания липкости таких адгезивов являются всевозможные вариации методик испытаний на отслаивание и поперечный сдвиг. Как уже было отмечено, испытание на адгезию посредством одноосного вдавливания, проводимое группой американских ученых, представляется наиболее близким по своей сути к тесту на одноосное растяжение до разрыва: в обоих методах рассматривается разрушение адгезионного контакта ЧДА под действием одноосного нагружения, используются примерно одинаковые по геометрии металлические зонды липкости, в обоих методах измерение адгезии основывается на количественной оценке энергии, пошедшей на полный разрыв адгезионного контакта. С учетом этого для более тщательной отработки процедуры измерения липкости биоинспирированных катехол-содержащих адгезивов в режиме одноосного растяжения до разрыва представляется необходимым учесть особенности опыта в измерении липкости катехол-содержащих гидрогелей зарубежными коллегами и постараться спроецировать некоторые существенные моменты на стандартную процедуру probe-tack.

#### Выводы

Была отработана методика получения биоинспирированных катехол-содержащих полимеров-адгезивов, структура которых была подтверждена данными ЯМР и ИК спектроскопии.

Показано, что введение в растворы катехол-содержащих полимеров ионов многовалентных металлов приводит к образованию нековалентных сшивок между цепями полимеров.

Продемонстрировано влияние природы ионов на комплексообразующую способность таких полимеров, а также на их механические свойства. Показано, что лучшей сшивающей способностью обладают ионы  $\text{Fe}^{3+}$ .

#### Список литературы:

1. Bruce Lee, Kui Huang, Philip B. Messersmith. 2001. Synthesis and characterization of self-assembling block-copolymers containing adhesive moieties. *Polymer Preprints* 2001, 42(2), 148.
2. Catron N, Lee H, Messersmith PB. 2006. Enhancement of poly (ethylene glycol) mucoadsorption by biomimetic end group functionalization. *Biointerphases* 1:134–41
3. Feldstein M.M. // *Handbook of Pressure Sensitive Adhesives and Products* / Ed. by I. Benedek, M.M. Feldstein. Boca Raton; London; New York: CRC Taylor and Francis, 2008. V. 1. Ch. 12
4. Yu M, Hwang J, Deming TJ. 1999. Role of L-3,4-dihydroxyphenylalanine in mussel adhesive proteins. *J. Am. Chem. Soc.* 121:5825–26
5. Zhiping Xu, 2013. Mechanics of metal-catecholate complexes. The roles of coordination state and metal types. *Scientific reports*3:2914:1-5

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

Научный журнал

**UNIVERSUM:  
ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ**

№ 1(31)  
Январь 2017

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77 – 66239 от 01.07.2016  
Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 55878 от 07.11.2013

Подписано в печать 05.01.17. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4,25. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213  
E-mail: [mail@7universum.com](mailto:mail@7universum.com)  
[www.7universum.com](http://www.7universum.com)

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленного оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3