

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи

**Юдаев Павел Александрович**

**Полимерные сорбенты металлов на основе поливинилового  
спирта и фосфазенсодержащего экстрагента**

1.4.7. Высокомолекулярные соединения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата химических наук

Москва - 2023

Работа выполнена на кафедре химической технологии пластических масс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Научный руководитель:

кандидат химических наук, доцент  
**Чистяков Евгений Михайлович**  
доцент кафедры химической технологии пластических масс Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева

Официальные  
оппоненты:

доктор химических наук, профессор  
**Горбунова Ирина Юрьевна**  
заведующий кафедрой технологии переработки пластмасс Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева

кандидат химических наук, доцент  
**Богданова Юлия Геннадиевна**  
старший научный сотрудник кафедры коллоидной химии Химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН)

Защита состоится «17» мая 2023 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.05 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале (ауд. 443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ имени Д.И. Менделеева и на официальном сайте: <http://www.muctr.ru/>

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
РХТУ.2.6.05

Биличенко Ю.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Полимеры находят всё большее применение в процессах сорбции тяжелых металлов, лантаноидов и актиноидов. В отличие от неорганических сорбентов их полимерные аналоги обладают большей сорбционной емкостью.

Наибольшее значение в экстракционных процессах приобрели жидкие фосфорорганические экстрагенты, которые часто бывают токсичными. Для устранения этого недостатка фосфорорганические экстрагенты вводят в матрицу биосовместимого нетоксичного полимера.

При этом, для повышения эффективности сорбции металлов используют хелатные соединения. В качестве таких соединений перспективны функциональные арилоксициклофосфазены, поскольку они биосовместимы, устойчивы к гидролизу в кислой среде, нерастворимы в воде, легко подвергаются химической модификации введением в их структуру различных координационных центров.

Для легкости отделения сорбента от водной фазы с помощью постоянного магнита к полимеру вместе с экстрагентом добавляют магнитные частицы, например, наночастицы магнетита. Используемые на сегодняшний день частицы магнетита обладают плохой диспергируемостью в полимерной матрице и склонностью к агрегации из-за высокой поверхностной энергии. Для решения данной задачи был использован мелкодисперсный порошок частиц карбонильного железа.

Использование магнитных полимерных сорбентов, содержащих полидентатный арилоксициклофосфазен, в процессах сорбции металлов из сточных вод и почвы позволит решить множество проблем, сделает процесс сорбции более экономически эффективным и экологически безопасным.

**Степень разработанности темы.** Несмотря на то, что полимерные сорбенты металлов широко исследованы в научной литературе (по данным базы данных Scopus опубликовано более 100 статей за 2022-ой год), сорбция

металлов с помощью магнитных полимерных сорбентов, содержащих полидентатный фосфорорганический экстрагент, ранее не изучалась.

**Цель работы** заключается в разработке новых магнитных полимерных сорбентов металлов на основе поливинилового спирта, содержащих в своей структуре полидентатный фосфорорганический экстрагент.

Для достижения цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1) разработать методики синтеза фосфорсодержащих полидентатных экстрагентов, совместимых с полимерной матрицей, исследовать их влияние на почвенную микрофлору;

2) разработать методы синтеза частиц железа, устойчивых в кислых средах;

3) установить оптимальные условия совмещения разработанных экстрагентов с полимерной матрицей и частицами кислотостойкого железа;

4) оценить магнитные свойства сорбента, эффективность и селективность извлечения палладия (II) из солянокислых водных растворов различной концентрации с помощью разработанного сорбента.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1) радикальной сополимеризацией диметакрилата триэтиленгликоля и льняного масла получен устойчивый к соляной кислоте капсулированный порошок мелкодисперсного карбонильного железа;

2) присоединением диэтилфосфита к азометиновым группам арилоксициклофосфазена в присутствии п-толуолсульфо кислоты получен ранее не описанный арилоксициклофосфазен с шестью  $\alpha$ -аминофосфонатными группами, который может быть использован в исследовании экстракции металлов из почвы, так как не оказывал ингибирующего влияния на почвенную микрофлору;

3) установлено, что магнитные полимерные сорбенты на основе кислотостойкого карбонильного железа, поливинилового спирта и модифицированные арилоксициклофосфазеном (экстрагентом), обладают

достаточными для применения в сорбционных процессах водопоглощением (64 %) и намагниченностью насыщения ( $13,75 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ );

4) выявлено, что полимерные сорбенты, содержащие 12,5 мас. % экстрагента (по отношению к массе поливинилового спирта), селективно извлекают палладий (II) из 0,25 молярного солянокислого водного раствора с эффективностью 57 % за один цикл и 89 % за два цикла сорбции-десорбции в присутствии меди (II).

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Разработанные магнитные полимерные сорбенты, содержащие фосфорорганические полидентатные экстрагенты, рекомендованы для высокоэффективного, селективного и экологически безопасного извлечения палладия (II) из солянокислых растворов, образующихся в процессе выщелачивания автомобильных катализаторов или электронного лома.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Подходы к получению полимерных гелей на основе поливинилового спирта, характеристики этих гелей.

2. Получение и структура монокристаллов арилоксициклофосфазена, содержащего шесть азометиновых групп.

3. Синтез арилоксициклофосфазена, содержащего шесть аминоксидных групп.

4. Получение частиц карбонильного железа, стойких в кислых средах.

5. Установление оптимальных условий получения магнитного полимерного сорбента на основе поливинилового спирта, арилоксициклофосфазена и кислотостойкого карбонильного железа.

6. Оценка магнитных и сорбционных свойств магнитного полимерного сорбента, модифицированного арилоксициклофосфазеном.

**Методология и методы исследования.** В диссертационной работе были использованы следующие методы исследования: спектроскопия ядерного магнитного резонанса (на ядрах  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$ ), масс-спектрометрия MALDI-TOF,

ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье, дифференциальная сканирующая калориметрия, рентгенодифракционный анализ, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, оптическая микроскопия, вибрационная магнитометрия. Микробиологические исследования проводились *in vitro* в колбах на жидкой питательной среде в шейкере-инкубаторе. Оптическую плотность определяли с помощью спектрофотометра. Для определения колониеобразующих единиц использовали метод Коха.

**Апробация работы.** Отдельные разделы диссертации были представлены на: XX-ой Международной междисциплинарной научной геоконференции SGEM 2020 (София, Болгария, 18-24 августа 2020 г.), XXIV и XXV Всероссийских конференциях молодых ученых-химиков (с международным участием) (Нижний Новгород, Россия, 20-22 апреля 2021 г., 19-21 апреля 2022 г.), Международной научной конференции «Природные и синтетические полимеры медицинского и технического назначения» (Минск, Беларусь, 27-29 апреля 2022), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2022» (Москва, Россия, 11-22 апреля 2022).

**Личный вклад автора.** Автором проведен анализ научной литературы в области жидкостной экстракции и сорбции тяжелых металлов, актиноидов и лантаноидов; апробированы различные сшивающие агенты для получения однородных гранулированных гелей поливинилового спирта; синтезирован и охарактеризован экстрагент на основе арилоксициклотрифосфазена; исследованы сорбционные свойства полимерного сорбента, содержащего экстрагент, по отношению к двухвалентному палладию. Также проведены обработка и анализ полученных результатов.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 4 статьи в журналах, рецензируемых в базах данных Scopus и Web of Science, получен 1 патент на изобретение (патент РФ № 2734552).

**Объем и структура диссертации.** Диссертация написана на 105 страницах формата А4 и содержит 41 рисунок, 28 схем и уравнений, 13 таблиц. Диссертация состоит из введения, литературного обзора, обсуждения результатов, экспериментальной части, выводов и списка литературных источников.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В разделе **Введение** представлена актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационного исследования.

**Литературный обзор** состоит из раздела, посвященного сорбции тяжелых металлов с помощью полимерных сорбентов, и разделов, посвященных наиболее известным жидким фосфорсодержащим экстрагентам металлов, анализу их достоинств и недостатков для применения в экстракционных процессах.

Раздел **Обсуждение результатов** состоит из четырех глав. В первой главе изложены результаты исследования гелей на основе поливинилового спирта, сшитого различными реагентами, и выбраны оптимальные условия для получения однородных гранул, во второй главе рассмотрен синтез арилоксициклофосфазенов, содержащих азометиновые и аминофосфонатные группы, в третьей главе приведено описание метода получения кислотостойкого карбонильного железа, в четвертой главе описаны методики получения, магнитные и сорбционные свойства полимерных сорбентов.

В разделе **Экспериментальная часть** представлены характеристики исходных веществ, методики синтезов, методы анализа и методология микробиологического исследования токсичности.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

**1. Сшивание поливинилового спирта различными реагентами для получения гранул.**

Получить однородные гранулы поливинилового спирта удалось только при использовании глутарового альдегида в качестве сшивающего агента, что

обусловлено легкостью диспергирования эмульсии поливиниловый спирт-вода-глутаровый альдегид (дисперсная фаза)/петролейный эфир (дисперсионная среда). Петролейный эфир был выбран в качестве дисперсионной среды, поскольку в нем не растворяется полидентатный экстрагент.

Оптимальным соотношением водной и органической фаз является 1:2 (об./об.), так как при его увеличении наряду с гранулами образовывалось большое количество мелкодисперсного порошка геля.

Согласно  $^{13}\text{C}$  спектру ЯМР геля (рисунок 1) реакция сшивания поливинилового спирта глутаровым альдегидом прошла только с образованием ацеталей.

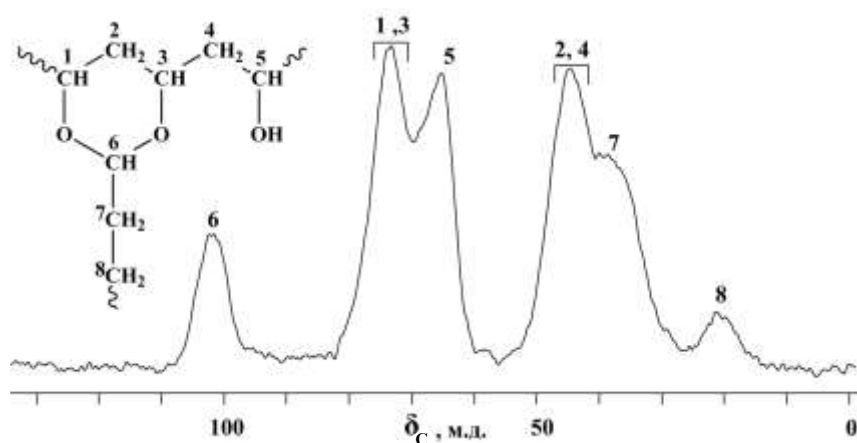


Рисунок 1 –  $^{13}\text{C}$  спектр ЯМР поливинилового спирта, сшитого глутаровым альдегидом

Об этом свидетельствует сигнал ядер углерода, характерный для ацеталей, в области 105 м.д. (углерод номер 6 на рисунке 1). Сигнал ядер углерода в области 90 м.д., характерный для полуацеталей, на спектре ЯМР отсутствует. Сигнал ядер углерода в области 65 м.д. (углерод номер 5 на рисунке 1) свидетельствует о наличии в сшитом полимере свободных гидроксильных групп, обеспечивающих водопоглощающие свойства геля.

Таким образом, гель на основе поливинилового спирта, сшитого глутаровым альдегидом, является подходящей полимерной матрицей для

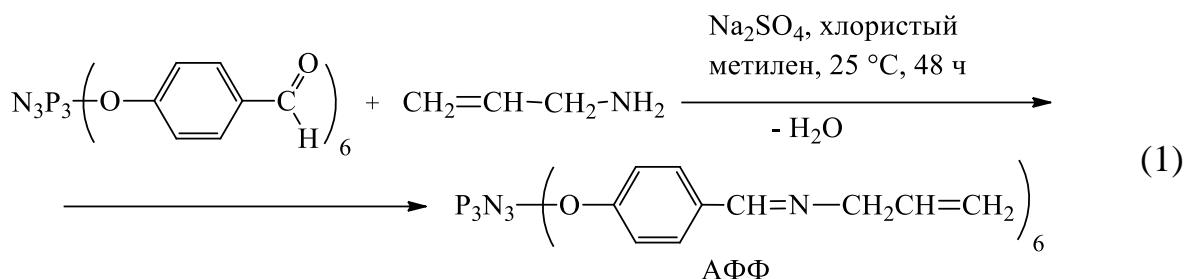


создания магнитного сорбента палладия в связи со способностью геля поглощать большое количество воды.

## 2. Синтез азометина, фосфазенсодержащего аминфосфоната (экстрагента) и палладиевого комплекса экстрагента.

Полидентатный экстрагент синтезировали в три стадии. На первой стадии получали гексакис-[(4-формил)фенокси]циклотрифосфазен (ФФФ) замещением атомов хлора в гексахлорциклотрифосфазене на 4-формилфенокси радикалы.

На второй стадии был получен гексакис-[4-{(N-аллилимино)метил}фенокси]циклотрифосфазен (АФФ) в соответствии со схемой 1.



Реакцию вели в неполярном растворителе (хлороформ или хлористый метилен). Для полного превращения альдегидных групп в азометиновые использовали 20%-ный мольный избыток аллиламина по отношению к альдегидным группам ФФФ.

Строение полученного азометина подтверждали с помощью  $^{31}\text{P}$  и  $^1\text{H}$  спектроскопии ЯМР (рисунок 2). На MALDI-TOF масс-спектре имеется лишь один пик, соответствующий массе целевого продукта, с присоединенным протоном матрицы ( $1096+\text{H}^+$ ).

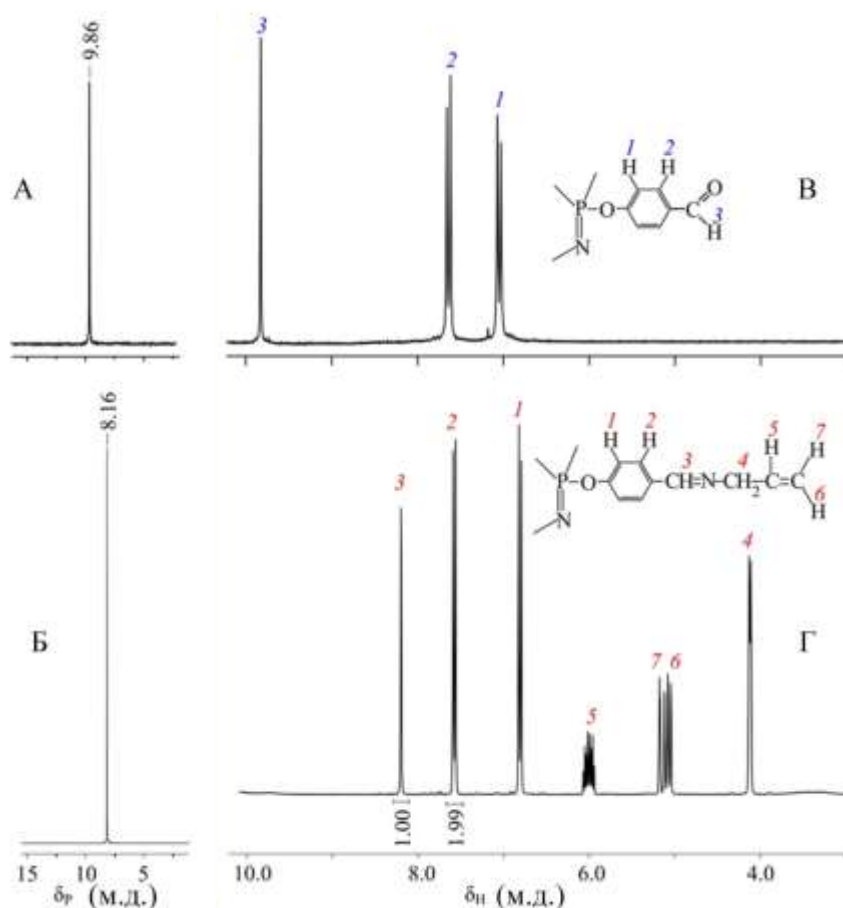


Рисунок 2 –  $^{31}\text{P}$  спектры ЯМР ФФФ (А), АФФ (Б) и  $^1\text{H}$  спектры ЯМР ФФФ (В), АФФ (Г)

Для получения монокристаллов АФФ использовали метод осаждения парами летучего растворителя из раствора в низколетучем растворителе в закрытом объёме. В качестве низколетучего растворителя использовали толуол, на основе которого готовили насыщенный раствор АФФ. Осадителем был выбран гексан. В процессе осаждения парами гексана из раствора формировались относительно крупные пластинчатые монокристаллы, которые были исследованы методом рентгенодифракционного анализа при комнатной температуре (рисунок 3).

Показано, что сфера, ограниченная вокруг молекулы АФФ, имеет диаметр 2,382 нм, что позволяет отнести молекулу АФФ к наноразмерным структурам. Расчет теоретического размера сетки гидрогеля  $\xi$  согласно равновесной теории набухания Флори-Ренера показал, что размер молекулы

АФФ больше размера ячейки гидрогеля ( $\xi$  меньше 2 нм), что способствует фиксации молекулы в матрице полимера.

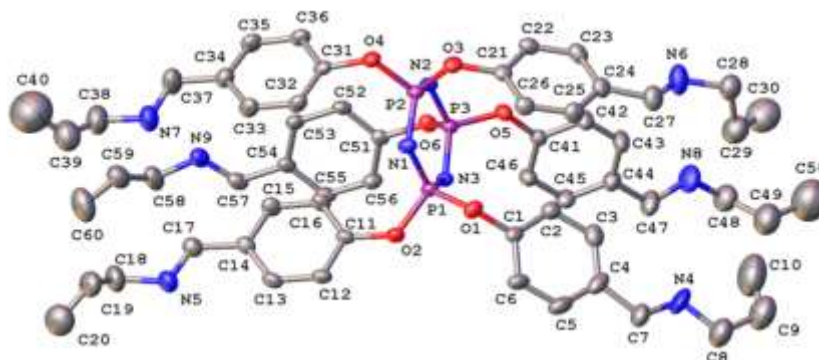
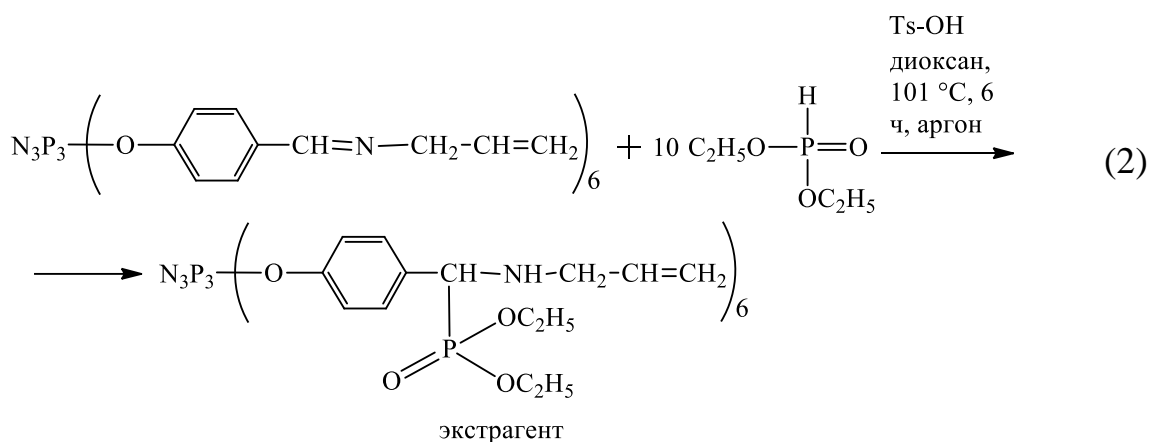


Рисунок 3 – Молекулярная структура АФФ в представлении неводородных атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 20% вероятностью

Экстрагент синтезировали по реакции Пудовика из АФФ и диэтилфосфита (40%-ный мольный избыток) по схеме 2. Строение полученного экстрагента подтверждали с помощью  $^{31}\text{P}$ ,  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  спектроскопии ЯМР (рисунки 4 и 5).



Данный метод синтеза  $\alpha$ -аминофосфонатов позволяет избежать использования чувствительных к влаге катализаторов (кислот Льюиса).

На MALDI-TOF масс-спектре экстрагента (рисунок 5) наблюдается пик молекулярного иона с протоном матрицы в области 1925  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , соответствующий массе целевого соединения, а также экстрагента с присоединенным ионом натрия в области 1948  $[\text{M}+\text{Na}]^+$ .

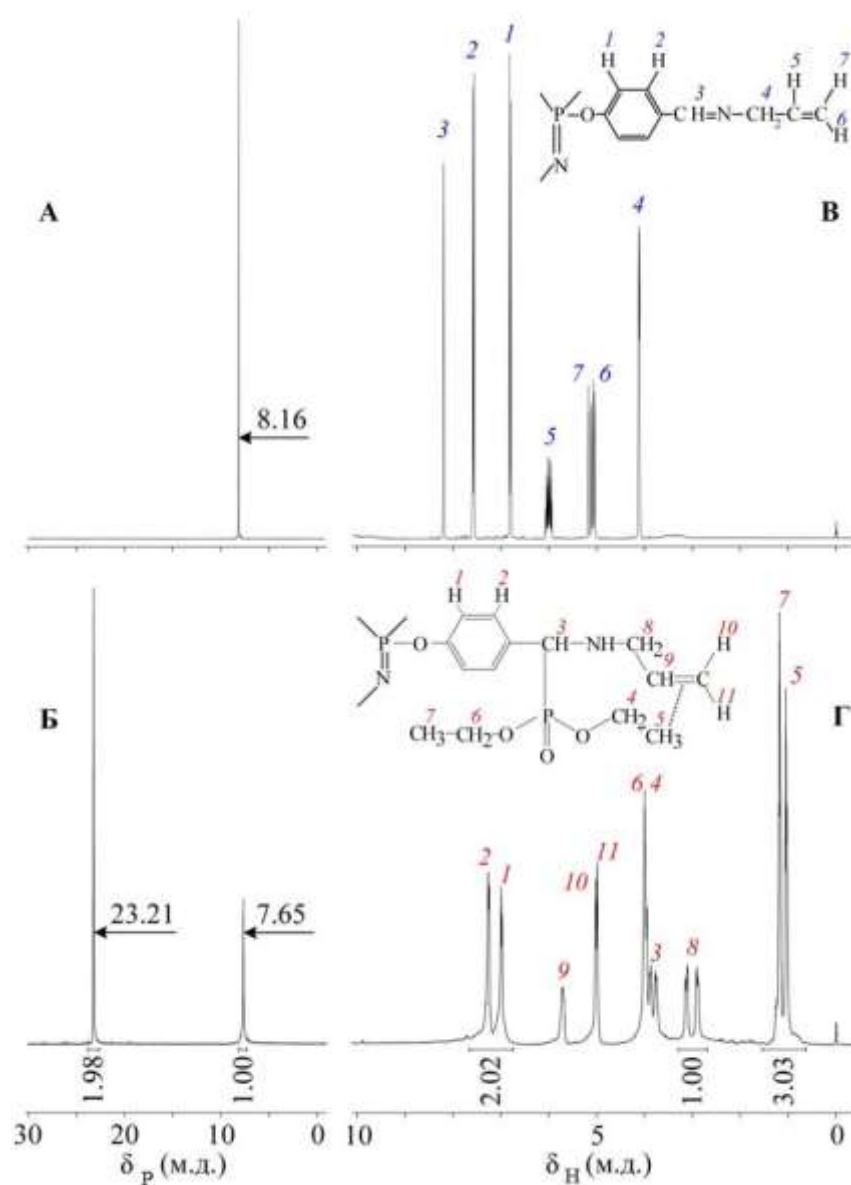


Рисунок 4 –  $^{31}\text{P}$  спектры ЯМР АФФ (А), экстрагента (Б) и  $^1\text{H}$  спектры ЯМР АФФ (В), экстрагента (Г)

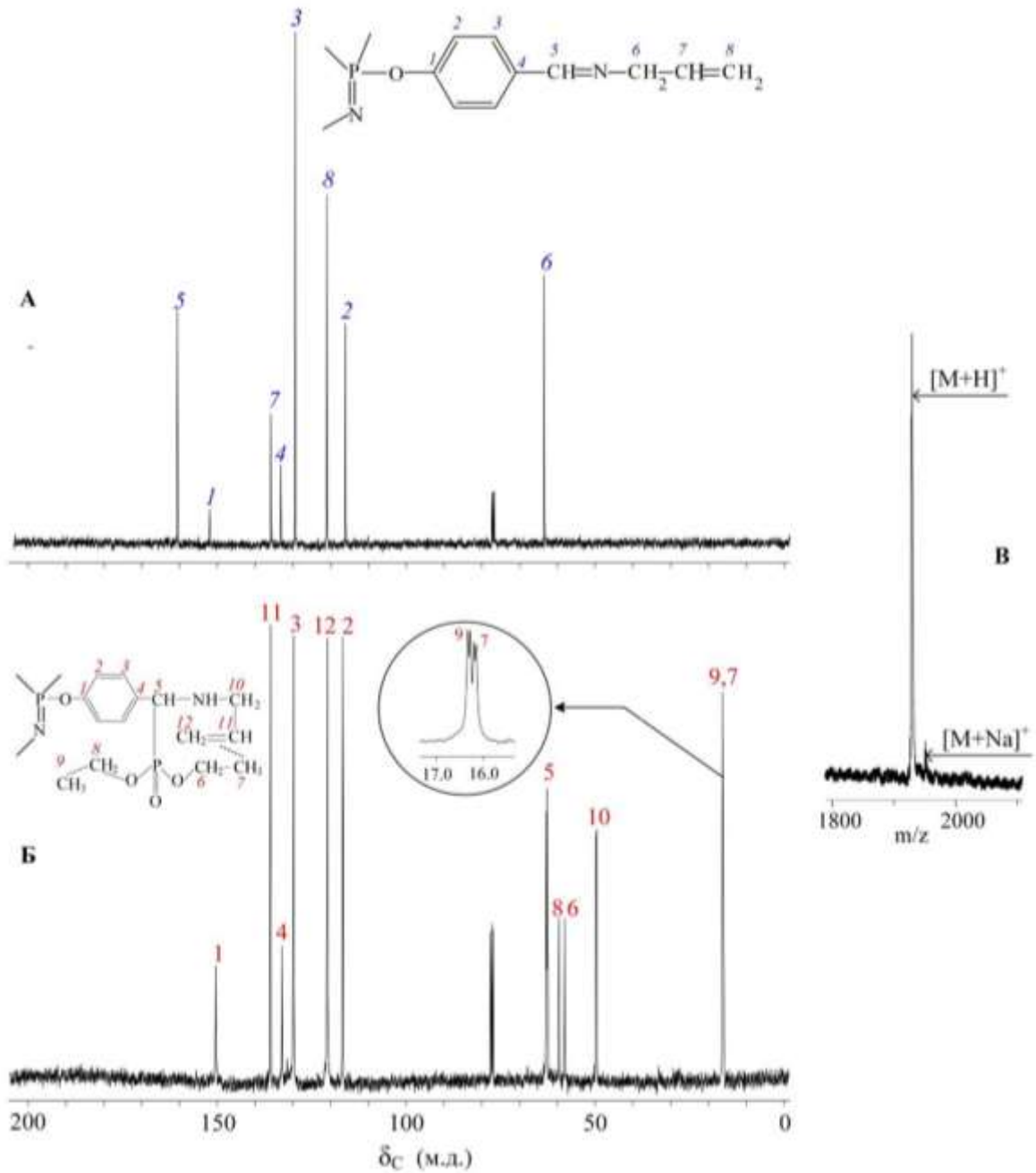


Рисунок 5 – <sup>13</sup>C спектры ЯМР АФФ (А), экстрагента (Б) и MALDI-TOF масс-спектр экстрагента (В)

Для оценки эффективности была проведена экстракция палладия (II) из хлоридных сред, в результате чего был получен соответствующий комплекс, который оказался нерастворимым. При сравнении ИК-спектров экстрагента и палладиевого комплекса было установлено, что координация палладия идет по фосфорильным группам экстрагента, о чем свидетельствует изменение вида полосы валентных колебаний связи P=O в области 935 см<sup>-1</sup>.

### **3. Получение капсулированного кислотостойкого карбонильного железа.**

Для формирования капсулы на поверхности железа использовали диметакрилат триэтиленгликоля (ТГМ-3), льняное масло и азобисизобутиронитрил в качестве инициатора (массовое соотношение железо : ТГМ-3 : льняное масло равно 1 : 2,5 : 2,5). В результате на поверхности железа происходило образование сополимера, защищающего поверхность порошка от контакта с соляной кислотой.

Наличие фрагментов льняного масла в сополимере было подтверждено полосой деформационных колебаний С(О)О группы сложного эфира, а фрагментов ТГМ-3 – полосой деформационных колебаний группы С-О-С простого эфира. Кроме того, на ИК-спектре льняного масла присутствует характеристическая полоса деформационного колебания связи =СН-, а на спектре ТГМ-3 – характеристическая полоса валентного колебания группы С=С малой интенсивности. На спектре же капсулированного карбонильного железа отсутствуют указанные полосы, что свидетельствует о протекании сополимеризации на поверхности железа.

Примерная толщина слоя сополимера на поверхности карбонильного железа составила в среднем 1 мкм, что позволяет защитить поверхность железа от воздействия молекул соляной кислоты.

### **4. Синтез и свойства сорбентов, содержащих полидентатный экстрагент.**

Полимерные сорбенты формировали из двухфазной системы – раствора экстрагента в тетрагидрофуране и водного раствора поливинилового спирта и глутарового альдегида (ГА). При быстром смешении компонентов растворы давали стойкую и относительно вязкую эмульсию, за счёт чего в дальнейшем обеспечивалось равномерное распределение экстрагента в полимере. Структурирование системы обеспечивалось добавлением каталитических количеств соляной кислоты.

Установлено, что время гелеобразования и водопоглощение уменьшаются с увеличением количества ГА, а количество вытесненной из сорбента жидкости возрастает (таблица 1), обусловленное увеличением степени сшивки полимера. Как видно из полученных результатов, наилучшим для применения в сорбционных процессах является сорбент, содержащий 0,63 мол. % ГА, поскольку он обладает наибольшим водопоглощением и не вытесняет воду в процессе гелеобразования.

На ИК-спектре сорбента сохраняется полоса, характерная для валентных колебаний связей P=N фосфазенового цикла, свидетельствующая о присутствии экстрагента в сорбенте после его промывки и сушки.

Таблица 1 – Параметры синтезируемых сорбентов.

№	ГА, мол. %	Время гелеобразования	Вытесненная вода, мас. %	Поглощенная вода, мас. %
1.	0,63	1 сутки	0	64,0
2.	1,25	1 сутки	23,4	53,4
3.	2,5	12 часов	43,1	45,1
4.	5,0	7 часов	71,6	39,4
5.	10,0	5 часов	75,1	22,1

Полученный сорбент в отличие от коммерческого экстрагента Цианекс 923 был эффективен для сорбции палладия (II) из слабокислых водных растворов. В частности, сорбция палладия из 0,25 молярного раствора соляной кислоты составила 57 %. Вероятно, это обусловлено полидентатностью разработанного фосфазенсодержащего экстрагента. При последующей обработке сорбента пятимолярной соляной кислотой достигалась полная десорбция металла.

При проведении двух циклов сорбции одной порцией сорбента (0,1 г) на каждый цикл, количество выделенного палладия достигло 89 %.

Для оценки селективности сорбции палладия (II) был исследован процесс сорбции палладия в присутствии меди (II) из 0,25 молярного солянокислого

раствора. В результате за один цикл удалось селективно выделить 52 % палладия, при этом вся медь осталась в исходном растворе.

Намагниченность насыщения капсулированного карбонильного железа равна  $132 \text{ Гс/см}^3 \cdot \text{г}$ , что примерно в два раза выше по сравнению с наночастицами магнетита. Намагниченность насыщения сорбента составляет примерно  $14 \text{ Гс/см}^3 \cdot \text{г}$ . Более низкое значение намагниченности насыщения магнитного сорбента по сравнению с капсулированным карбонильным железом обусловлено влиянием полимерной матрицы. Данное значение достаточно для того, чтобы сорбент мог отделяться с помощью магнита от воды и немагнитных частиц и использоваться в процессах извлечения палладия (II) из вторичного сырья.

Изучение свойств магнитного сорбента показало, что он обладает аналогичными сорбционными характеристиками в пересчёте на массу сорбента, не содержащего железа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Получены магнитные сорбенты, содержащие в своей структуре полидентатный экстрагент на основе арилоксициклотрифосфазена и капсулированные кислотостойкие магнитные частицы железа. Данные сорбенты показали высокую эффективность извлечения палладия (II) из слабокислых сред, в том числе, в присутствии солей меди (II).

2. Установлено, что наиболее оптимальным методом получения гранулированных гелей на основе поливинилового спирта является сшивание поливинилового спирта глутаровым альдегидом при  $0-5^\circ\text{C}$  в кислой среде.

3. Показана возможность получения полидентатного экстрагента присоединением диэтилфосфита к азометиновой связи арилоксициклотрифосфазена, содержащего шесть азометиновых групп.

4. При сополимеризации диметакрилата триэтиленгликоля и льняного масла в присутствии динитрила азобисизомаасляной кислоты (инициатора) и



водного раствора поливинилового спирта (стабилизатор) на поверхности порошка карбонильного железа образуется сополимер, защищающий железо от воздействия концентрированной соляной кислоты.

5. Установлено, что магнитный сорбент, содержащий полидентатный экстрагент и капсулированное карбонильное железо, обладает сорбционными и магнитными свойствами, достаточными для применения в процессах сорбции палладия (II) из электронных отходов.

**Перспективы дальнейшей разработки темы** диссертационной работы связаны с исследованием процесса сорбции тяжелых металлов с помощью разработанного магнитного полимерного сорбента, содержащего полидентатный экстрагент. Предлагается и рекомендуется провести дополнительные исследования сорбционных свойств сорбента для применения его в процессах очистки загрязненных почв от токсичных тяжелых металлов – свинца, кадмия, ртути и других.

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

1. **Yudaev P.A.** Extraction of Palladium(II) with a Magnetic Sorbent Based on Polyvinyl Alcohol Gel, Metallic Iron, and an Environmentally Friendly Polydentate Phosphazene-Containing Extractant / **Yudaev P.A.**, Butorova I.A., Stepanov G.V., Chistyakov E.M. // *Gels*. – 2022. – V. 8. – P. 492. (*Scopus, Web of Science*)

2. **Yudaev P.A.** Crystallization of Nano-Sized Macromolecules by the Example of Hexakis-[4-{(N-Allylimino) methyl}phenoxy] cyclotriphosphazene / Chistyakov E.M., **Yudaev P.A.**, Nelyubina Yu.V. // *Nanomaterials*. – 2022. – V. 12. – P. 2268. (*Scopus, Web of Science*)

3. **Yudaev P.A.** Nanoparticle-Containing Wound Dressing: Antimicrobial and Healing Effects / **Yudaev P.A.**, Mezhuev Ya.O., Chistyakov E.M. // *Gels*. – 2022. – V. 8. – P. 329. (*Scopus, Web of Science*)

4. **Yudaev P.A.** Ionic Liquids as Components of Systems for Metal Extraction / **Yudaev P.A.**, Chistyakov E.M. // *ChemEngineering*. – 2022. – V. 6. – P. 6. (*Scopus, Web of Science*)

5. **Yudaev P.A.** Magnetic polymeric granules based on metal iron and polyvinyl alcohol / Chistyakov E.M., Kolpinskaya N.A., **Yudaev P.A.** // 20<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Болгария, София, 18–24 августа 2020 г. С. 507–514. (*Scopus, Web of Science*).

6. **Yudaev P.A.** Sorbents based on polyvinyl alcohol and phosphazene-containing extractant / **Yudaev P.A.**, Maslennikova V.V., Chistyakov E.M. // Тезисы докладов международной научной конференции «Природные и синтетические полимеры медицинского и технического назначения». Беларусь, Минск, 27–29 апреля 2022 г. С. 142.

7. **Yudaev P.A.** Synthesis of a polydentate extractant based on aryloxycyclotriphosphazene containing aminophosphate groups / **Yudaev P.A.**, Maslennikova V.V., Chistyakov E.M. // Тезисы докладов XXV Всероссийской конференции молодых ученых-химиков (с международным участием). Россия, Нижний Новгород, 19-21 апреля 2022 г. С. 29.

8. **Юдаев П.А.** Магнитные полимерные сорбенты палладия / **Юдаев П.А.**, Масленникова В.В. // Тезисы докладов международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2022». Россия, Москва, МГУ им М.В. Ломоносова, 11-22 апреля 2022 г. [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2022/data/section\\_14\\_25450.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2022/data/section_14_25450.htm).

9. **Yudaev P.A.** Magnetic gel based on iron and polyvinyl alcohol / **Yudaev P.A.**, Maslennikova V.V., Chistyakov E.M. // Тезисы докладов XXIV Всероссийской конференции молодых ученых-химиков (с международным участием). Россия, Нижний Новгород, 20-22 апреля 2021 г. С. 23.

10. Пат. RU 2734552 С1 Российская Федерация, МПК С09С1/62, С08F242/00, В22F1/02, Н01F1/26. Способ получения инкапсулированных магнитных частиц на основе железа, устойчивых в кислой среде / Чистяков Е.М., **Юдаев П.А.**, Филатов С.Н., Колпинская Н.А., Масленникова В.В.; заявл. 19.05.2020; опубл. 20.10.2020. Бюл. № 29. – 4 с.