

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра аналитической химии и химической экологии

**Получение нановолоконного сорбента на основе ПАН для  
концентрирования некоторых тяжелых металлов**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 411 группы  
направления 04.03.01 «Химия»

Института химии  
Груновой Юлии Валерьевны

Научный руководитель:

д.х.н., профессор

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Ю.Доронин

Зав. кафедрой:

д.х.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Т.Ю. Русанова

Саратов 2017 г.

## Введение

На сегодняшний день, загрязнение объектов окружающей среды тяжелыми металлами является одной из основных проблем в связи с быстрым ростом мировой промышленности и непосредственным влиянием загрязнений на здоровье людей. Так, при попадании тяжелых металлов в организм человека с концентрацией выше ПДК и накоплении их в тканях, могут проявляться симптомы отравления, к которым относят, в частности, обезвоживание, тошноту, рвоту, боли в животе, головокружение, отсутствие координации в мышцах, разрушение нервной системы у маленьких детей, раздражение легких, слизистой глаз, кожные высыпания, легочную недостаточность и повреждение печени.

Источниками тяжелых металлов выступают различные промышленные предприятия, например гальваническое производство, металлические отделки, текстиль, аккумуляторы, свинцовая плавка, горнодобывающая, обшивочная, керамическая и стекольная промышленности. К общим промышленным загрязнителям можно отнести свинец, хром, кобальт, никель, ртуть, кадмий, мышьяк и медь. Отсутствие их биодegradации и способность накапливаться в объектах окружающей среды, вызывая серьезные последствия, обуславливает актуальность их определения на уровне ПДК и ниже. Среди чувствительных методов определения тяжелых металлов выделяют атомно-абсорбционную спектроскопию, спектроскопию с индуктивно-связанной плазмой, рентгенофлуоресцентный анализ, и другие. Однако, в ряде случаев необходимо предварительное сорбционное концентрирование ионов тяжелых металлов, таким образом, стоит задача выбора оптимального сорбента, способного отвечать заданным требованиям и обладать высокой сорбционной способностью к ионам тяжелых металлов. Такими сорбентами могут быть нетканые материалы (НМ), которым в последнее десятилетие уделяется особое внимание. Благодаря уникальным свойствам НМ их применение крайне широко: в тканевой инженерии, системах доставки лекарств, в качестве нановолоконных мембран для тонкой фильтрации и защитной одежды.

Наиболее простым и универсальным способом получения НМ в настоящий момент является метод электроформования, который позволяет варьировать параметры формования и контролировать некоторые характеристики, получаемых наноматериалов. НМ, полученные этим способом, позволяют получать нановолокна, у которых высокая пористость, большая площадь поверхности на единицу массы, высокая газопроницаемость.

Сорбционное концентрирование ионов металлов из растворов может быть достигнуто с использованием соединений, содержащих функциональные группы, такие как амино-, карбокси-, остатки фосфорной кислоты, имидазолин, тиамидогруппы, амидоксимы и т.д., которые обладают способностью к комплексообразованию с ионами металлов. Среди них, группы амидоксима имеют высокую склонность к образованию прочных комплексов с широким спектром ионов тяжелых металлов: лантаноидов, актиноидов, переходных и редкоземельных элементов.

Использование НМ является привлекательной альтернативой традиционным методам сорбционного концентрирования благодаря их высокой удельной поверхности, что приводит к увеличению сорбционной емкости по сравнению с другими типами материалов, таких как глинистые сорбенты, смолы, пены и т.д.

**Актуальность работы.** Сорбционное концентрирование тяжелых металлов является одной из актуальных задач аналитической химии, в связи с высокой токсичностью тяжелых металлов, отсутствием их биodeградации и способностью накапливаться в объектах окружающей среды.

**Целью** настоящей работы явилось получение нетканого материала на основе полиакрилонитрила (ПАН) с помощью комбинированной техники электроформования нановолокна и химической модификации его нитрильной группы в амидоксим, а также исследование сорбционных свойств полученного материала по отношению к ионам  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ .

**Структура работы.** Бакалаврская работа общим объемом 49 страниц машинописного текста состоит из введения, двух основных глав: 1 глава –

литературный обзор; 2 глава – экспериментальная часть (5 разделов) и заключения.

**Практическая значимость:** получение высокоэффективного сорбента для сорбционного концентрирования ионов тяжелых металлов.

### **Основное содержание работы**

**Первый раздел** – литературный обзор по способам получения и модификации нетканых материалов различной природы.

Анализ литературных данных глубиной в 20 лет показал, что изучению сорбционных свойств нетканых материалов, полученных методом формования из полимеров различной природы, уделяется большое внимание.

Только за последние 5 лет представлено более 50 различных иностранных публикаций, что указывает на актуальность и новизну данной темы во всем мире. Все работы зарубежных исследователей посвящены изучению сорбционных свойств нетканых материалов по отношению к тяжелым металлам, которые, в свою очередь, представляют опасность для здоровья людей. В качестве основы для НМ использовались самые разнообразные природные и синтетические полимеры: хитозан, целлюлоза, ацетат целлюлозы, ПВС, ПАН, ПЭТФ, ПЭО, ПВДФ, а также их композиты.

**Второй раздел – экспериментальная часть**, включает в себя следующие подразделы:

2.1. Реагенты и аппаратура

2.2. Методы исследования

2.3. Получение нетканого материала на основе полиакрилонитрила методом электроформования и изучение его физико – химических свойств

2.4. Ковалентная модификация нетканого материала солянокислым гидроксиламином в присутствии карбоната натрия

2.5. Исследование сорбционных свойств модифицированного нетканого материала амидоксима полиакрилонитрила (ПАН-оксим) по отношению к ионам  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$

2.5.1. Изучение кинетики сорбции

2.5.2. Построение изотерм сорбции при различных рН

### 2.5.3. Изучение десорбции ионов $Pb^{2+}$ и $Cu^{2+}$

#### **Методика получения нетканого материала на основе ПАН**

Для получения НМ на основе ПАН применяли бескапиллярный метод электроформования из гальванической ванны на приборе Elmarco “Nanospider NS Lab 200”.

Готовый формовочный раствор помещали в гальваническую ванну и процесс формования осуществляли в ранее установленных оптимальных условиях.

С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) изучали морфологию полученных образцов материала ПАН. Установлено (рисунок 1), что НМ имеет нановолоконную структуру.

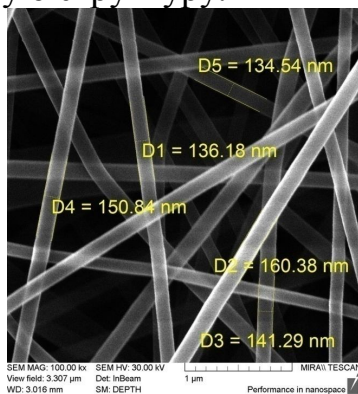
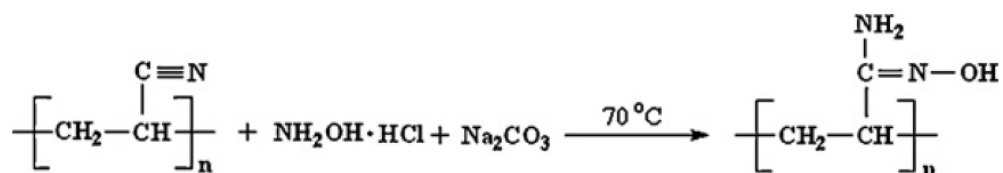


Рисунок 1 – Электронная микрофотография ПАН нановолокон, полученных методом электроформования на приборе Elmarco “Nanospider NS Lab 200”

#### **Ковалентная модификация нетканого материала солянокислым гидроксиламин в присутствии карбоната натрия**

В качестве модификатора в настоящей работе применяли солянокислый гидроксиламин в присутствии безводного карбоната натрия, так как среди возможных образующихся при модификации функциональных групп (карбоксилатных, сульфонатных, тиольных, фосфатных), группы амидоксима имеют высокую склонность к образованию прочных комплексов с широким спектром ионов тяжелых металлов: лантаноидов, актиноидов, переходных и редкоземельных металлов.

Модификация осуществлялась по следующей схеме:



Процесс модификации полученного материала контролировали степенью его конверсии (%), вычисляемой по формуле:

$$C_n = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \frac{M_0}{M_1} \times 100$$

где  $W_0$  – масса ПАН нановолокна до модификации;  $W_1$  – масса ПАН нановолокна после модификации;  $M_1$  – молекулярная масса гидроксиламина (33 г/моль);  $M_0$  – молекулярная масса акрилонитрила (53 г/моль).

Для определения оптимальных концентраций модифицирующих реагентов варьировали их соотношения: 1) 0,1 : 0,05 М; 2) 0,2 : 0,1 М; 3) 0,3 : 0,15 М; 4) 0,5 : 0,25 М. Реагенты  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  были взяты в соотношении 2 : 1, с оптимальными концентрациями 0,5 : 0,25 М соответственно, в связи с увеличением скорости реакции и достижением оптимальной степени конверсии за минимальный временной интервал.

При определении оптимальных условий модификации учитывали прочность нетканого материала и изменение его структуры в зависимости от степени его конверсии (таблица 1). Так, при увеличении времени при модификации ПАН и концентрации гидроксиламина, степень конверсии нановолокна возрастала, в результате чего материал изменял свою окраску от белой до желто-коричневой. При этом повышалась его хрупкость.

Таблица 1 – Зависимость качества нетканого материала от времени реакции, степени конверсии и концентрации модифицирующих реагентов

Конверсия, %		с( $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ), М		
		0,2	0,3	0,5
τ, МИН	40	0	0	0
	60	0	0	10 (мягкий)
	80	0	3 (мягкий)	22 (мягкий)
	100	0	21 (мягкий)	45 (хрупкий)
	120	0,5	40 (хрупкий)	–

Таким образом, при варьировании концентраций реагентов установлено, что при увеличении времени реакции, а, следовательно, и степени конверсии, материал становился более хрупким. Поэтому наиболее оптимальным значением степени конверсии НМ ( $C_n$ ) для изучения его сорбционных свойств по отношению к тяжелым металлам выбрана величина  $C_n \sim 20\%$ .

Реакцию между гидроксиламином и нитрильной группой полиакрилонитрила контролировали ИК–Фурье–спектроскопически (рисунок 2). На основании справочных величин волновых чисел и полученных ИК–спектров определены значения волновых чисел и соответствующие им функциональные группы:  $-\text{C}\equiv\text{N}$ ,  $>\text{C}=\text{O}$ ,  $>\text{C}=\text{N}-$ ,  $>\text{N}-\text{H}$ ,  $>\text{N}-\text{O}-$ .

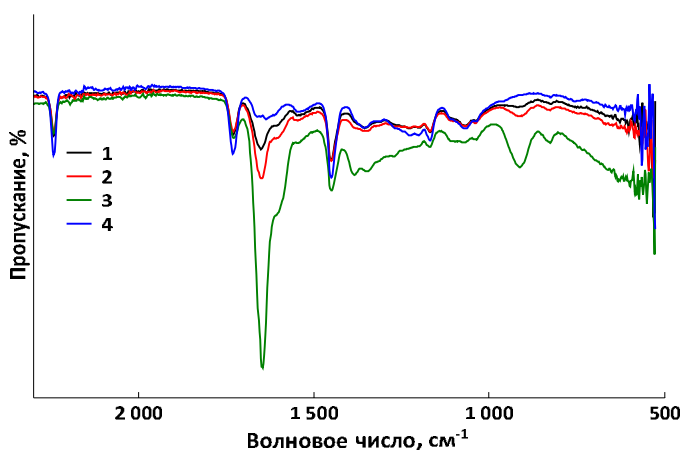


Рисунок 2 – ИК – спектры ПАН и ПАН-оксима.  $c(\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}) = 0,3 \text{ M}$ ;  $c(\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}) : c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2 : 1$ ; Время модификации: 1- 60 ; 2 - 80; 3 - 100 минут; 4 - без модификации

С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) определены диаметры волокон модифицированного материала ПАН (рисунок 3).

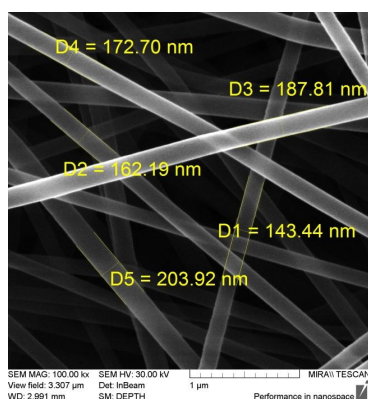


Рисунок 3 – Электронная микрофотография ПАН нановолокон после проведения реакции модификации (ПАН-оксим)

В результате установлено, что диаметры нановолокон после модификации незначительно увеличились по сравнению с диаметрами нановолокон исходного НМ, рисунок 1.

### **Исследование сорбционных свойств модифицированного нетканого материала амидоксима полиакрилонитрила по отношению к ионам $Pb^{2+}$ и $Cu^{2+}$**

После проведения модификации НМ основной задачей исследования явилось изучение сорбционных свойств модифицированного нетканого материала (ПАН-оксима) по отношению к ионам тяжелых металлов на примере  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ . Для этой цели определяли концентрации ионов металлов до и после сорбции на НМ методом спектрофотометрии с использованием градуировочных графиков  $A - c$  ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ .

Определение концентрации ионов свинца осуществляли с аналитическим реагентом – ПАР, который образует с ионами свинца устойчивый хелатный комплекс при  $\lambda_{\text{макс}} = 520$  нм.

Градуировочный график для определения ионов свинца представлен на рисунке 5.

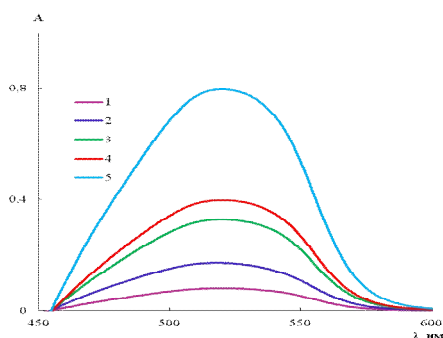


Рисунок 4 – Электронные спектры поглощения системы: ПАР +  $Pb^{2+}$ .  
Содержание  $Pb^{2+}$ : 1 -  $2 \cdot 10^{-6}$ ; 2 -  $4 \cdot 10^{-6}$ ; 3 -  $8 \cdot 10^{-6}$ ; 4 -  $1 \cdot 10^{-5}$ ; 5 -  $2 \cdot 10^{-5}$ , М.  
 $c(\text{ПАР}) = 8 \cdot 10^{-5}$  М

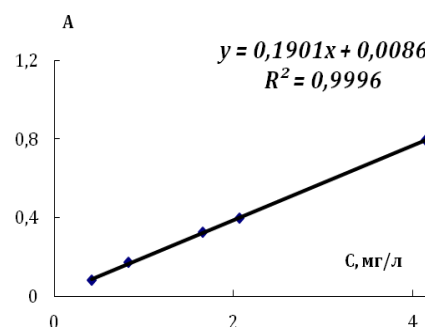


Рисунок 5 – Градуировочный график для ионов  $Pb^{2+}$

Остаточные концентрации  $Pb^{2+}$  в растворе после сорбции рассчитывали по уравнению градуировочного графика. Аликвотную часть исследуемого раствора переносили в пробирку объемом 10 мл, далее добавляли раствор ПАР, ацетатно-аммиачный буфер ( $pH = 10$ ) и доводили до общего объема (10 мл)



дистиллированной водой. Растворы фотометрировали при  $\lambda_{\text{макс}} = 520$  нм относительно холостого раствора ПАР.

Определение концентрации ионов меди осуществляли методом дифференциальной фотометрии с аналитическим реагентом – «Тетра», который образует с ионами меди устойчивый хелатный комплекс при  $\lambda_{\text{макс}} = 535$  нм.

Градуировочный график представлен на рисунке 7.

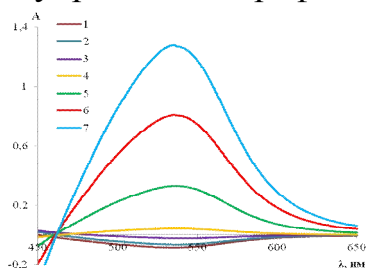


Рисунок 6 – Электронные спектры поглощения системы: «Тетра» +  $\text{Cu}^{2+}$ .  
 $c(\text{Cu}^{2+})$ : 1 –  $1,56 \cdot 10^{-6}$ ; 2 –  $3,91 \cdot 10^{-6}$ ;  
 3 –  $7,81 \cdot 10^{-6}$ ; 4 –  $1,17 \cdot 10^{-5}$ ; 5 –  $1,56 \cdot 10^{-5}$ ;  
 6 –  $3,91 \cdot 10^{-5}$ ; 7 –  $7,81 \cdot 10^{-5}$ ; 8 –  $1,17 \cdot 10^{-4}$ , М.  
 $c(\text{«Тетра»}) = 1,4 \cdot 10^{-3}$  М

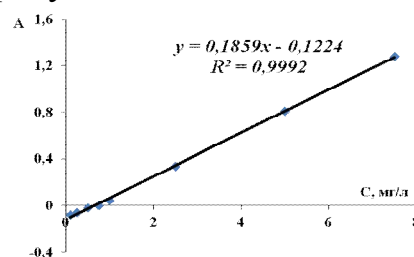


Рисунок 7 – Градуировочный график для ионов  $\text{Cu}^{2+}$

Для оценки остаточной концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$  после сорбции, аликвотную часть исследуемого раствора, переносили в центрифужную пробирку объемом 10 мл, добавляли реактив «Тетра» и доводили до общего объема (10 мл) дистиллированной водой. Растворы фотометрировали при  $\lambda_{\text{макс}} = 535$  нм относительно выбранного раствора сравнения  $c(\text{Cu}^{2+}) = 1,17 \cdot 10^{-5}$  М.

С помощью электронной микрофотографии было показано изменение диаметра нановолокон после сорбции (рисунок 8).

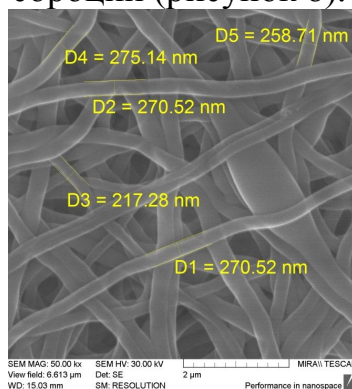


Рисунок 8 – Электронная микрофотография ПАН-оксим нановолокон после проведения реакций модификации и сорбции

Наблюдалось изменение формы волокон и увеличение их размеров по сравнению с исходным и модифицированным материалами (рисунок 1, рисунок 3), что обусловлено хемосорбцией ионов  $Pb^{2+}$  за счет реакции комплексообразования иона с функциональными группами ПАН-оксима.

### Изучение кинетики сорбции

Одной из основных задач исследования сорбционного процесса на ПАН-оксимае явилось изучение его кинетики. Для этого образцы ПАН-оксима заливали растворами солей  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  с концентрацией 20 мг/л.

Через установленные промежутки времени отбирали аликвоты и фотометрически определяли концентрации в остаточных растворах. Далее рассчитывали значения сорбционной емкости и по полученным результатам строилась зависимость сорбционной ёмкости  $Q$ , мг/г от времени  $T$ , ч:

$$Q = \frac{(C_0 - C_t)V}{m}, \text{ мг/г,}$$

где  $c_0$  – исходная концентрация ионов металла (мг/л);  $c_t$  – конечная концентрация ионов металла (мг/л);  $V$  – объем раствора (л);  $m$  – количество используемого сорбента (г).

В результате, кинетические кривые сорбции (рисунок 9) показали, что равновесное значение сорбции достигается для ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  в течение 8 часов. При этом из рисунка 9 видно, что в начальный этап времени скорость сорбции достаточно высока, но при достижении области равновесия снижается.

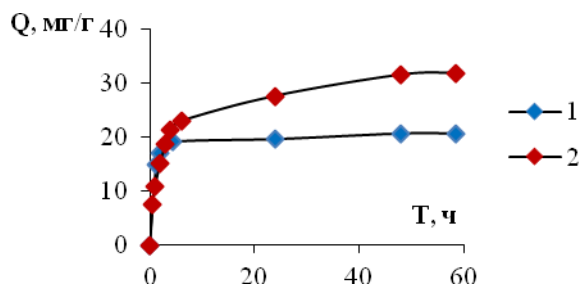


Рисунок 9 – Кинетические кривые сорбции исследуемых ионов металлов:

1 –  $Pb^{2+}$ ; 2 –  $Cu^{2+}$ .  $c(Cu^{2+}, Pb^{2+}) = 20$  мг/л

## Построение изотерм сорбции при различных рН

Образцы исследуемого материала (ПАН-оксим) помещали в растворы солей  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  с фиксированными значениями  $pH = 5 - 7$  и выдерживали в них при комнатной температуре в течение 24 ч. Кислотность среды создавали с помощью ацетатно–аммиачных буферных растворов с  $pH = 5, 6$  и  $7$ .

На основании спектрофотометрических и расчетных данных построены изотермы сорбции (рисунок 10, рисунок 11), отражающие зависимость сорбционной ёмкости (мг/г) от концентрации ионов металлов (мг/л).

При более высоких концентрациях  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  в растворе изотермы постепенно выходят на насыщение (плато). В результате установлено, что зависимости имеют вид изотермы Лэнгмюра.

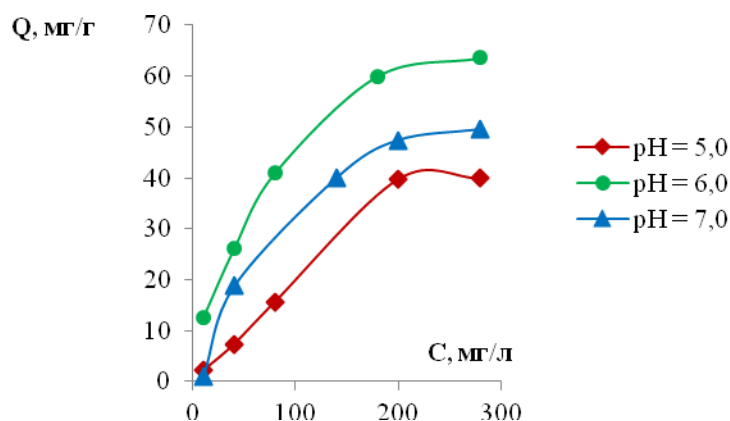


Рисунок 10 – Сравнительная характеристика сорбционной способности нетканого материала ПАН-оксим по отношению к  $Pb^{2+}$  в различных средах

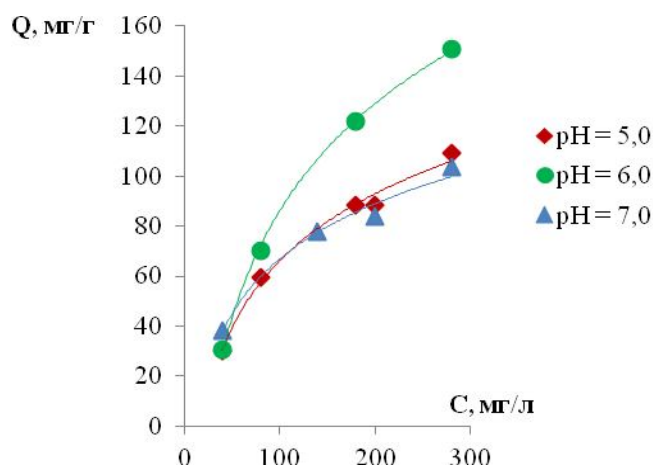


Рисунок 11 – Сравнительная характеристика сорбционной способности нетканого материала ПАН-оксим по отношению к  $Cu^{2+}$  в различных средах

Величина рН оказывает значительное влияние на свойства веществ и механизмы протекания процессов, поэтому одна из задач настоящей работы заключалась в исследовании сорбционных свойств модифицированного нетканого материала по отношению к ионам металлов  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  в зависимости от рН.

Исходя из диаграмм распределения кислотно-основных форм гидроокисей свинца и меди, представленных на рисунках 12 и 13, для ионов свинца при рН = 5 наиболее характерно существование в виде  $Pb^{2+}$ , при рН = 6 возможно существование двух форм ( $Pb^{2+}$  и  $Pb(OH)^+$ ) из которых превалирует  $Pb^{2+}$ , при рН = 7 наиболее вероятна форма  $Pb(OH)^+$ .

Для меди в среде с рН = 5 возможно существование в виде  $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ , а при рН = 6 возможны две формы  $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ,  $[Cu(H_2O)_3(OH)]^+$  с преобладанием первой, в случае с рН = 7 возможно нахождение всех трех форм  $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ,  $[Cu(H_2O)_3(OH)]^+$ ,  $[Cu(H_2O)_2(OH)_2]$ , но наиболее вероятна  $[Cu(H_2O)_3(OH)]^+$ . Поэтому предполагалось, что при рН = 5 и 6 сорбционная емкость материала по отношению к ионам  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  будет выше, чем при рН = 7 в связи с представленными формами существования ионов в данных средах.

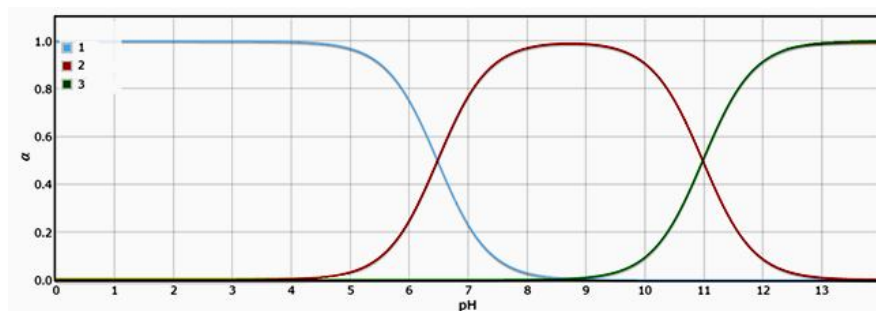


Рисунок 12 – Диаграмма распределения кислотно-основных форм гидроокиси свинца:  
1 -  $Pb^{2+}$ ; 2 -  $Pb(OH)^+$ ; 3 -  $Pb(OH)_2$

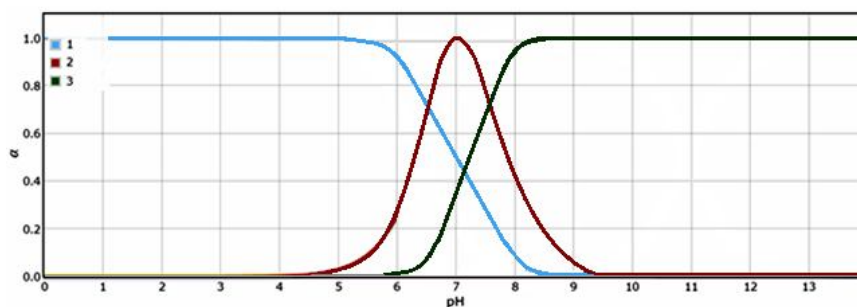


Рисунок 13 – Диаграмма распределения кислотно-основных форм меди:  
1 -  $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ; 2 -  $[Cu(H_2O)_3(OH)]^+$ ; 3 -  $[Cu(H_2O)_2(OH)_2]$

В результате эксперимента была получена следующая зависимость. При  $\text{pH} = 6$  наблюдалась наибольшая величина сорбционной емкости модифицированным материалом ПАН-оксим, чем из растворов с  $\text{pH} = 5$  и  $7$  (рисунок 18, 19) как для  $\text{Pb}^{2+}$ , так и для  $\text{Cu}^{2+}$ .

При значении  $\text{pH} = 6$  металл в растворе преобладает в форме  $\text{Pb}^{2+}$ , а при  $\text{pH} = 7$  большая часть ионов  $\text{Pb}^{2+}$  связывается в положительно заряженный комплекс  $\text{Pb}(\text{OH})^+$ , вследствие чего осложняется процесс сорбции металла. Низкие показатели сорбционной емкости металла при  $\text{pH} = 5$  объясняются увеличением кислотности среды, а следовательно возникновением конкурирующего действия между ионами  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{H}^+$ .

В случае сорбции меди на ПАН-оксим наблюдалась похожая закономерность при варьировании значений  $\text{pH}$ .

### **Изучение десорбции ионов $\text{Pb}^{2+}$ и $\text{Cu}^{2+}$**

Экспериментально осуществлена десорбция ионов металлов с ПАН-оксима, для оценки перспектив многоразового его применения в качестве сорбента тяжелых металлов.

Для этого нетканые материалы ПАН-оксима с известным количеством сорбированных ионов  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  помещали в раствор азотной кислоты и перемешивали. Концентрацию  $\text{HNO}_3$  варьировали от  $0,01 \text{ M}$  до  $1 \text{ M}$ .

Затем отбирали аликвоты исследуемых растворов ( $\text{HNO}_3 + \text{Pb}^{2+}$ ;  $\text{HNO}_3 + \text{Cu}^{2+}$ ), которые предварительно нейтрализовали до  $\text{pH} \sim 7$  (по индикаторной бумаге). Приготовленные таким образом растворы фотометрировали после добавления соответствующих реактивов, как было описано выше, и по построенным ранее градуировочным графикам (рисунок 5, рисунок 7) находили концентрации перешедших в раствор ионов  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ .

Степень десорбции ( $D$ , %) определяли согласно:

, %,

где  $c_d$  – концентрация десорбированного металла, мг/л;  
 $c_c$  – концентрация металла сорбированного на материал, мг/л.

В результате установлено, что десорбция напрямую зависит от концентрации десорбирующего реагента  $\text{HNO}_3$  (рисунок 14).

Таким образом, в результате эксперимента установлено, что  $\text{HNO}_3$  с концентрацией 1 М более эффективна в процессе десорбции, так как позволяет за короткое время выделить сорбированные металлы и восстановить сорбционные свойства нетканого материала.

Исходя из этого, НМ ПАН-оксим обладают высоким потенциалом применения в качестве фильтров многоразового использования для очистки (доочистки) различных вод, а также в качестве сорбента для твердофазной экстракции тяжелых металлов.

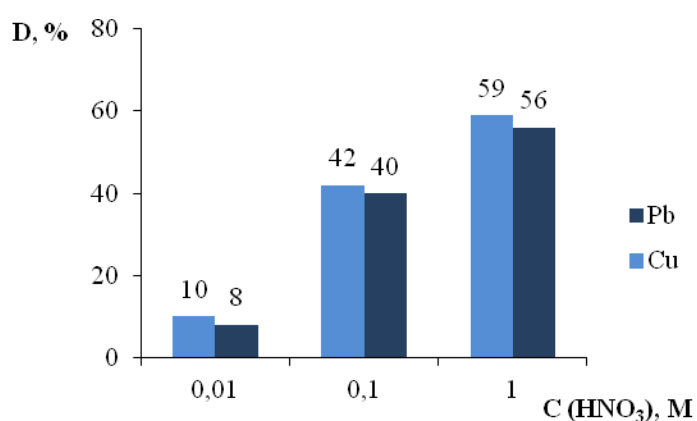


Рисунок 14 – Диаграмма зависимости степени десорбции от концентрации десорбирующего агента

## Заключение

1. В ходе работы с помощью бескапиллярного метода электроформования получен высокоэффективный сорбент – нетканый материал на основе полиакрилонитрила, ковалентно-модифицированный гидроксиламином в присутствии безводного карбоната натрия.

2. ИК-спектроскопически исследовано влияние концентрации гидроксиламина (0,2 – 0,5 М) и времени модификации (0 – 120 мин) на степень конверсии нитрильных групп полиакрилонитрила в амидоксимные и механические свойства нановолокна. Оптимальная степень конверсии ( $C_n$ ) для получения эластичного нетканого материала составила ~ 20 %.

3. Исследованы сорбционные свойства нетканого материала на основе ковалентно-модифицированного полиакрилонитрила (ПАН-оксима) по отношению к ионам  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  при различных рН. Показано, что концентрирование тяжелых металлов ПАН-оксимом является хемосорбцией (комплексобразование с функциональными амидоксимными группами), что подтверждается полученными изотермами сорбции, которые имеют классический Лэнгмюровский вид. Сорбционная емкость ПАН-оксима для  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  составила  $(62 \pm 2)$  и  $(151 \pm 3)$  мг/г соответственно.

4. Изучена десорбция ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  с ПАН-оксима при варьировании концентрации десорбирующего агента –  $HNO_3$ . Установлена оптимальная концентрация  $HNO_3$  – 1 М, позволяющая за минимальный промежуток времени десорбировать из матрицы НМ и восстанавливать его сорбционные свойства. В связи с этим показано, что нетканые материалы ПАН-оксим обладают высоким потенциалом их применения в качестве фильтров многоразового использования для очистки (доочистки) различных вод, а также для твердофазной экстракции тяжелых металлов из водных сред.