

УДК 661.183:661.666.1

## Разработка углеродных модифицированных сорбентов медицинского назначения

Л. Г. ПЬЯНОВА<sup>1,2</sup>, О. Н. БАКЛАНОВА<sup>1</sup>, В. А. ДРОЗДОВ<sup>1</sup>, В. А. ЛИХОЛОБОВ<sup>1,2</sup>, А. В. СЕДАНОВА<sup>1</sup>, М. С. ДРОЗДЕЦКАЯ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем переработки углеводов Сибирского отделения РАН, ул. Нефтезаводская, 54, Омск 644040 (Россия)

E-mail: medugli@ihcp.ru, medugli@rambler.ru

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, проспект Мира, 11, Омск 644050 (Россия)

### Аннотация

Приведены результаты исследований, посвященных разработке аппликационных углеродных сорбентов медицинского назначения. Представлены направления синтеза углеродных аппликационных материалов, описаны способы модифицирования углеродной поверхности. Проведены физико-химические и медико-биологические исследования полученных сорбентов.

**Ключевые слова:** углеродный сорбент, модифицирование, поливинилпирролидон, гликолевая кислота, физико-химические свойства, аппликационные материалы, антибактериальная активность, антимикотические свойства

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на активное развитие методов медикаментозной терапии, частота гнойно-септических заболеваний не снижается. Традиционные пути введения антибиотиков не обеспечивают их высоких концентраций в очаге воспаления, что оборачивается продолжительным и дорогостоящим курсом лечения, высоким риском развития осложнений и формирования резистентных штаммов микроорганизмов. Кроме того, ряд лекарственных препаратов имеет целый спектр побочных эффектов и противопоказаний [1–4].

Ведется поиск новых нетрадиционных путей лечения гнойно-септических заболеваний. Наибольший интерес представляет метод эфферентной терапии с применением сорбционных аппликационных материалов. Суть аппликационной сорбции (вulnerable сорбции) заключается в извлечении токсических метаболитов, микробных клеток и бактериальных токсинов при прямом контакте сорбента с биологической поверхностью. Использование

сорбционных материалов при vulnerable сорбции снижает риск распространения гнойно-септических процессов при инфекционных заболеваниях, позволяет удалить из очага воспаления не только сами патогенные микроорганизмы, но и их токсины.

Как правило, материал в сорбционной терапии используется в виде порошков, гранул или тканей. При проведении профилактических и лечебных процедур таким гранулированным или тканевым сорбентам проблематично задать форму, оптимальную для проведения лечебной процедуры. В этой связи актуально создание аппликационных сорбентов с формой, удобной для применения в медицинской практике.

Широкое применение сорбентов ограничено многокомпонентностью, метастабильностью биологических жидкостей организма и их несовместимостью с чужеродными поверхностями материалов. Так, например, контакт нативной крови с биологически несовместимыми материалами может привести к активации ее свертывающей системы, выделению

фибрина и последующему тромбозу крови. Кроме того, гемосорбции сопутствуют такие опасные явления, как сорбция и разрушение наиболее чувствительных форменных элементов крови (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты).

В связи с этим необходимо, чтобы сорбенты с биоспецифическими свойствами удовлетворяли медицинским требованиям, а их поверхность была активной по отношению к токсинам.

В данной статье обобщены результаты исследований по разработке аппликационных углеродных сорбентов медицинского назначения, проводимых в Институте проблем переработки углеводов (ИППУ) СО РАН. Представлены направления синтеза углеродных аппликационных материалов, описаны способы модифицирования углеродной поверхности. Проведен анализ результатов медико-биологических испытаний при оценке эффективности разработанных сорбентов по отношению к патогенным микроорганизмам.

#### **ХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ СОРБЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ БИОСПЕЦИФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Химическое модифицирование углеродных материалов осуществляют путем химических реакций с участием “активных” (реакционно-способных) поверхностных групп, в ходе которых изменяется функциональный покров (химическая природа) поверхности [5].

В зависимости от поставленной цели поверхность сорбента модифицируют путем введения в матрицу гетероатомов (N, S и др.), прививкой реакционноспособных функциональных групп (карбоксильные, карбонильные, эфирные и др.) или нанесением на поверхность матрицы полимерной пленки, имеющей в своем составе реакционноспособные функциональные группы. Наличие на поверхности модифицированных сорбентов различных функциональных групп повышает биоспецифические свойства сорбентов.

Известно, что аминокислоты гемосорбенты при повышении pH крови связывают кислые метаболиты. Лизиносодержащие гемосорбенты связывают свободный гемоглобин и эффективны при лечении нарушений гемолитического характера. Инсулинсодержащие сорбенты извлекают антитела к инсулину. Си-

ликатные сорбенты с иммобилизованным белком А позволяют удалять иммуноглобулины G и иммунные комплексы из кровотока при раковых заболеваниях. Разработаны сорбенты на основе силикагеля или силохрома с иммобилизованным сульфополисахаридом для извлечения липопротеинов низкой плотности при атеросклерозе [6–9].

Известен широкий спектр модификаторов, представляющих особый интерес для разработки сорбентов медицинского и ветеринарного назначения. На их основе могут быть созданы материалы с биоспецифическими свойствами (антибактериальные, антимикотические, противовирусные и др.). Данные вещества широко применяются в медицине, ветеринарии, косметической и пищевой промышленности:

– карбоновые кислоты (молочная, адипиновая, аминокaproновая, гликолевая и др.) проявляют антибактериальные, антиоксидантные, противогрибковые, антисептические, тонизирующие, общеукрепляющие и другие свойства, биосовместимы;

– аминокислоты (лизин, тирозин, триптофан и др.) проявляют иммуномодулирующие, противовирусные, антибактериальные, детоксикационные свойства, стимулируют обмен веществ, улучшают функции надпочечников, щитовидной железы и др.;

– полимеры (полиэтиленгликоль, полипропиленгликоль, политетрафторэтилен, поливинилпирролидон и др.) обладают антибактериальными, антисептическими, детоксикационными, иммуномодулирующими и другими свойствами;

– биополимеры (лизоцим, альбумин, белок А, иммуноглобулины, макроглобулины, плазмин, пероксидаза и др.) обладают противовоспалительными, иммуномодулирующими, антибактериальными, антисептическими и другими свойствами.

#### **Материалы**

Для проведения модифицирования в ИППУ СО РАН получен сорбент класса гемосорбента углеродного ВНИИТУ-1 следующего гранулометрического состава: >1.00 мм 2 %, 1.00 мм 54 %, 0.63 мм 43 %, <0.63 мм 1 % (образец № 1).

Для модифицирования поверхности углеродного сорбента использовались: модификатор – *N*-винилпирролидон, инициатор радикальной полимеризации – динитрил азобисизомасляной кислоты (ДИНИЗ); 99 мас. % гликолевая кислота (ГК) (Merk Schuchardt OHG, Германия).

#### *Методики модифицирования углеродного сорбента*

**Синтез сорбента, модифицированного поли-*N*-винилпирролидоном (ПВП).** Пропитку гранул углеродного гемосорбента проводили в круглодонной колбе 0.2–1.0 % раствором инициатора ДИНИЗ в винилпирролидоне (ВП) при pH 7.0–7.5 (остаточное давление 100–200 мм рт. ст., соотношение сорбент/раствор ВП = (1.0 : 1.4)–(1.0 : 2.0), продолжительность пропитки 40–60 мин). Температуру в реакционной среде постепенно повышали до 67–69 °С и выдерживали в течение 9 ч в инертной атмосфере. Получен модифицированный образец № 2.

**Синтез сорбента, модифицированного полигликолевой кислотой (ПГК).** Пропитку углеродного сорбента проводили в 50 % водном растворе ГК при соотношении сорбент/раствор ГК = 1 : 1 при температуре (23±2) °С в течение 1 сут. Пропитанный сорбент выдерживали в сушильном шкафу при температуре (105±2) °С в течение 1 ч. Далее проводили термообработку сорбента сначала при (195±5) °С в течение 1 ч, затем температуру повышали до (225±5) °С и выдерживали в течение 5 ч. По этой методике получен модифицированный образец № 3.

#### *Методы исследования*

Для изучения текстурных характеристик углеродных сорбентов применяли метод низкотемпературной адсорбции азота. Изотермы адсорбции-десорбции азота ( $T = 77.4$  К) получали с помощью прибора Gemini-2380 Micromeritics. Величину  $S_{уд}$  определяли по изотермам адсорбции в области относительных равновесных давлений паров азота  $P/P_0 = 0.05–0.3$ . Дополнительно определяли удельный объем пор исследуемых образцов при  $P/P_s = 0.96$ . Образцы предварительно тре-

нировали в вакууме при температуре 300 °С (исходный) и 25 °С (модифицированные образцы) в течение 6–8 ч.

Морфологию и рельеф поверхности исследуемых образцов углеродного сорбента изучали методом растровой электронной микроскопии с использованием электронного микроскопа JSM-6460LV JEOL. Методика пробоподготовки сорбентов заключалась в вакуумном напылении на образец золотой пленки толщиной 10–15 нм. Исследовали по 6–10 гранул образцов сорбента. Для получения контрастных электронных микроизображений поверхности исследования проводили при напряжении 15–20 кВ и силе тока 10–30 мА.

Дополнительно с использованием рентгеновского микроанализа (приставка Incaх-akt, Oxford Instruments электронного микроскопа JSM-6460LV) изучен элементный состав образцов на определенных участках гранул. Исследовали по 6–10 гранул образцов сорбента.

Элементный анализ выполняли на CHNOS-анализаторе Vario El Cube Elementar. При проведении анализа навески образцов автоматически подавали в зону сжигания с помощью автосамплера. Анализ проводили согласно методике [10].

Термический анализ исследуемых образцов (ТГ–ДТГ–ДТА) проводили на приборе DTG-60H Shimadzu. Точность определения температуры составляла 1 °С, изменения массы – 0.1 %. Съёмки проводились в атмосфере воздуха, в интервале температур от комнатной до 600 °С; навеска образца 10 мг, скорость подъема температуры 10 °С/мин.

Качественный состав функциональных групп полученных образцов определяли с использованием ИК-спектроскопии. ИК-спектры пропускания регистрировали на спектрометре Nicolet-5700 (Thermo Fisher Scientific) с разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$  и числом накопления спектров, равным 32. Методика исследований заключалась в следующем: образец готовили в виде очень тонкого однородного слоя, полученного методом седиментации мелких частиц в стеклянном цилиндре высотой 25 см на оптически ИК-прозрачную пластинку из  $\text{BaF}_2$ . Затем регистрировали ИК-спектры и обрабатывали их в



программном пакете Origin для коррекции базовой линии и сглаживания фона.

Стендовые микробиологические испытания проводили в Центральной научно-исследовательской лаборатории Омской государственной медицинской академии (ЦНИЛ ОмГМА) под руководством проф. Т. И. Долгих по разработанной методике [10].

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОСПЕЦИФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОРБЕНТОВ

### Морфология и рельеф

Электронно-микроскопические исследования (рис. 1) позволили получить сведения о характере распределения полимерной пленки на поверхности частиц модифицированных

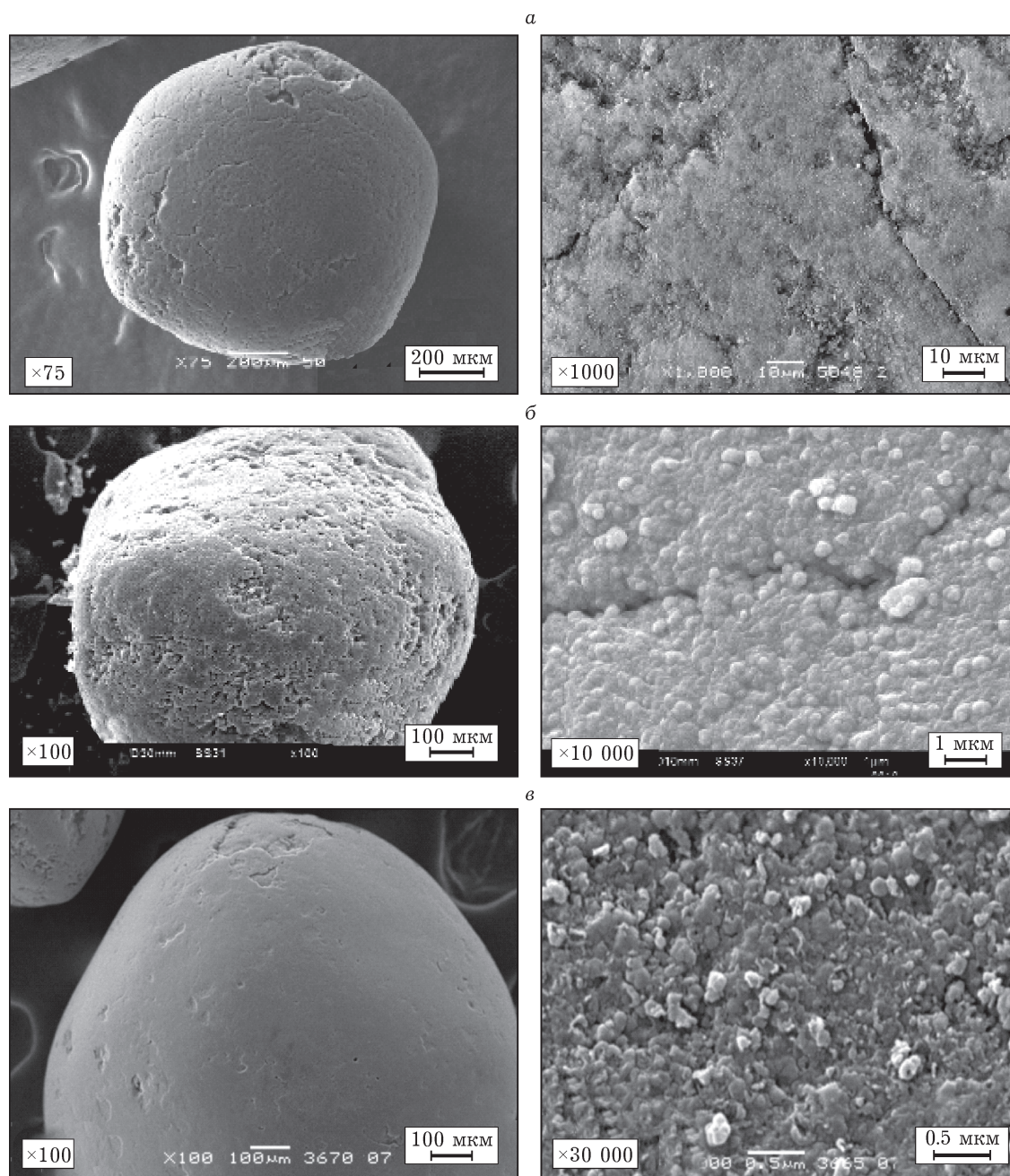


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки гранул и поверхности исследуемых образцов: а – исходный (образец № 1), б – модифицированный ПВП (образец № 2), в – модифицированный ПВХ (образец № 3).

образцов углеродного сорбента. Видно, что в процессе модифицирования форма и размеры углеродных гранул практически не изменяются. При небольшом увеличении ( $\times 100$ ) заметное изменение морфологии и рельефа поверхности углеродных гранул отмечается только для образца № 2, модифицированного ПВП. Для образца № 3, модифицированного полигликолевой кислотой, изменения морфологии и рельефа заметны только при увеличении  $\times 30\,000$  (см. рис. 1, в). Характер полимерной пленки для этих двух образцов примерно одинаковый: полимер на поверхности гранул распределен в виде мелкодисперсных частиц разнообразной формы, плотно прилегающих друг к другу. Полимеризация модификаторов, по-видимому, происходит в дефектах поверхности, в том числе в щелях, каналах, с образованием локального полимерного покрытия.

#### Текстурные характеристики

Полимеризация модификаторов на углеродном сорбенте приводит к изменению его текстурных характеристик. Введение в поры небольших по размеру молекул модификатора и последующая их полимеризация способствуют закрытию углеродной поверхности и закреплению на ней образованного полимерного слоя. Согласно анализу полученных данных, при модифицировании углеродного сорбента с использованием ПВП (образец № 2) удельная поверхность образца снижается в большей степени по сравнению с образцом, модифицированным с использованием ПГК (образец № 3) (табл. 1). Это может быть связано с условиями синтеза модифицированных сорбентов.

ТАБЛИЦА 1

Текстурные характеристики и элементный анализ исследуемых образцов

Номер образца	Модификатор	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	$V_{пор}$ , см <sup>3</sup> /г	Элементный состав, мас. %	
				С	О
1	–	377	0.624	100	0
2	ПВП	8	0.052	75.0	13.6
3	ПГК	205	0.418	91.0	9.0

ТАБЛИЦА 2

Результаты элементного анализа исследуемых образцов

Элементы	Содержание элемента, %		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
С	98.46 $\pm$ 0.26	85.31 $\pm$ 0.41	88.96 $\pm$ 0.32
Н	0.28 $\pm$ 0.08	2.77 $\pm$ 0.07	0.70 $\pm$ 0.024
N	–	3.80 $\pm$ 0.10	–
S	0.22 $\pm$ 0.08	0.11 $\pm$ 0.08	0.09 $\pm$ 0.031
O	0.96 $\pm$ 0.07	6.65 $\pm$ 0.07	8.2 $\pm$ 0.20
$\Sigma$	99.90 $\pm$ 0.17	98.64 $\pm$ 0.65	97.95 $\pm$ 0.14

#### Элементный анализ

В табл. 1 приведены данные рентгеновского микроанализа, по которым можно оценить распределение элементов на поверхности образцов до и после модифицирования. Видно, что при нанесении модификаторов на углеродной поверхности содержание углерода уменьшается от 100 до 75 %, а содержание кислорода повышается до 9.0 %. При этом для образца № 2 содержание кислорода несколько выше, чем при нанесении ПГК (см. табл. 1).

С,Н,S-анализ позволяет определить элементный состав исследуемых образцов сорбента (табл. 2).

Общий анализ полученных данных показал, что модифицирование влияет на элементный состав углеродного сорбента: снижается общее содержание углерода, но повышается содержание водорода и кислорода. Кроме того, в составе образца № 2, модифицированного ПВП, появляется азот.

Таким образом, модифицированные образцы отличаются от исходного по элементному составу.

### Термогравиметрический метод

Образцы углеродного сорбента изучены методом термического анализа, который позволяет следить за протеканием исследуемого процесса полимеризации; установить температурный интервал, в котором он происходит, и т. д.

Полученные дифференциальные термогравиметрические кривые анализа (ДТА) для модифицированных образцов представлены на рис. 2. На термограммах в области температур 0–550 °С для каждого образца наблюдается по одному экзотермическому пику, которые характеризуют нанесенный модификатор.

На кривой 2 (см. рис. 2), полученной для сорбента с нанесенным ПВП, имеется выраженный экзотермический пик при температуре 340–350 °С. Потеря массы образца составила 7.6 %. Согласно данным [11–17], в области температур 300–400 °С происходит разложение ПВП линейного строения с молекулярной массой 8000–10 000.

На кривой 3, полученной для образца № 3, имеется выраженный экзотермический пик при температуре 290–300 °С, которому соответствует потеря массы образца в 12.3 %. По данным [18, 19], в зависимости от молекулярной массы синтезированного полимера разложение ПГК может происходить в области температур 200–400 °С.

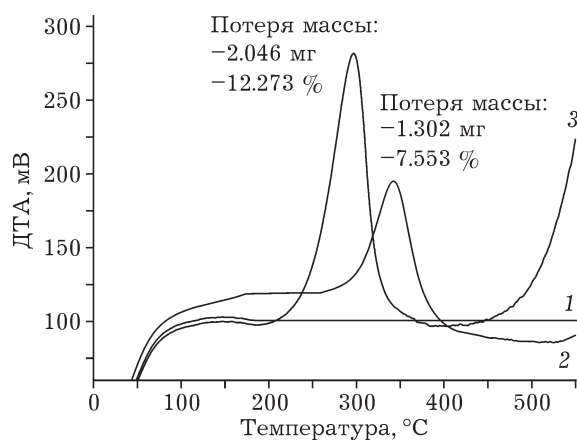


Рис. 2. Термограммы ДТА исследуемых углеродных сорбентов: 1 – исходный; 2, 3 – модифицированные с использованием ПВП и ПГК соответственно.

Необходимо отметить, что для немодифицированного образца (см. рис. 2, кривая 1) в области температур 200–550 °С отсутствуют пики, характеризующие экзо- или эндотермические процессы разложения материала. Это указывает на химическую чистоту исходного материала и упрощает процесс идентификации наносимых модификаторов на его поверхности. Разложение немодифицированного углеродного сорбента (образец № 1) происходит в области температур выше 600 °С. При этом потеря массы равна 12.6 %. Полное разложение углеродного сорбента наблюдается при температуре ~1000 °С [20].

Анализ термограмм показал, что данный метод позволяет не только зарегистрировать нанесенный на поверхность углеродного сорбента модификатор, но и количественно оценить массу нанесенного полимера. Согласно проведенному термогравиметрическому исследованию, разложение нанесенной ПГК происходит при более низких температурах (290–300 °С), чем для ПВП (340–350 °С). Это может быть связано с природой модификатора и с молекулярной массой синтезируемого полимера на поверхности углеродного сорбента. На поверхность сорбента при синтезе образца № 3 наносится больше модификатора (12.6 %), чем при получении образца № 2 (7.6 %), что обусловлено различием в методиках синтеза.

### ИК-спектроскопия

Качественный состав функциональных групп полученных образцов определяли ИК-спектроскопией (рис. 3). Соотнесение наблюдаемых полос поглощения (п. п.) в ИК-спектрах приведено в табл. 3. Интерпретация ИК-спектров проводилась в соответствии с данными [18, 21–23].

Образец № 1 (исходный) характеризуется наличием широких п. п. в интервале 1000–1200  $\text{см}^{-1}$ , которые могут относиться к валентным колебаниям связи С–О в спиртах и фенольных структурах (см. рис. 3). Достаточно интенсивные п. п. при 1500–1570  $\text{см}^{-1}$  могут быть отнесены к колебаниям связей С=C в полиароматических системах, а также к связи С=О в хелатных и сопряженных с ароматическими системами карбонилах (хиноидные

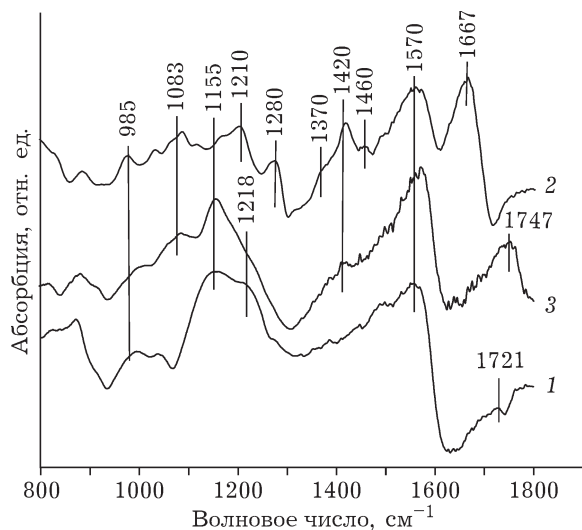


Рис. 3. ИК-спектры исследуемых образцов: 1 – исходный; 2, 3 – модифицированные с использованием ПВП и ПГК соответственно.

структуры). Слабая п. п. при  $1728\text{ см}^{-1}$  (валентные колебания группы  $\text{C}=\text{O}$ ) может свидетельствовать о наличии на поверхности карбонильных и карбоксильных групп.

Нанесение модификатора на углеродный сорбент влияет на состав функциональных групп, в связи с чем изменяется характер ИК-спектров (см. рис. 3).

В спектре образца № 2 появляются п. п., соответствующие полимеру ПВП: 1420 и 1640

$\text{см}^{-1}$ . Также можно отметить проявление достаточно интенсивных п. п. при  $1560\text{--}1570\text{ см}^{-1}$ , которые характеризуют колебания связей  $\text{C}=\text{C}$  в полиароматических системах исходного образца углеродного сорбента (образец № 1). Проявление в спектре образца № 2 колебаний, характерных для связей  $\text{C}-\text{O}$  в лактонах и эфирах фенола, фенольных и спиртовых структурах ( $1225$ ,  $1280\text{ см}^{-1}$  и  $1165$ ,  $1196\text{ см}^{-1}$  соответственно), можно отнести к природе углеродного сорбента, выбранного в качестве исходного материала. Необходимо отметить, что углеродная природа исходного материала подтверждается также наличием в спектрах образца № 2 п. п. при  $1500\text{--}1570\text{ см}^{-1}$ , которые характеризуют колебания связей  $\text{C}=\text{C}$  в полиароматических системах.

Анализ качественного состава функциональных групп образца № 3 показал, что модифицирование углеродного сорбента с использованием ПГК сопровождается изменениями в ИК-спектрах: п. п., соответствующая колебаниям связи  $\text{C}=\text{O}$ , смещается в высокочастотную область от  $1721$  до  $1747\text{ см}^{-1}$ . Согласно данным [19], это обусловлено формированием полимера – полигликолида.

Таким образом, с помощью ИК-спектроскопического анализа исследуемых образцов углеродного сорбента установлено влияние при-

ТАБЛИЦА 3

Соотнесение наблюдаемых полос поглощения в ИК-спектрах образцов

Соотнесение	Спектральная область, $\text{см}^{-1}$		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Внеплоскостные деформационные колебания $\text{CH}$ связи $\text{HC}=\text{CH}$ в структурных фрагментах $\text{RCH}=\text{HCR}$ и $\text{RCH}=\text{HC}-\text{OR}$ в <i>транс</i> -конфигурации	983	997	1003
Колебания связи $\text{C}-\text{O}$ в лактонах, эфирах, фенольных и спиртовых структурах	1210	1165, 1196	1100–1200
Валентные колебания $\text{C}-\text{N}$	–	1280	–
Плоскостные деформационные колебания $\text{CH}$ связи $\text{HC}=\text{CH}$	–	1375	–
Деформационные колебания $\text{CH}_2$ , связанной с атомами азота и/или углерода	1400–1500	1410–1480	–
Валентные колебания $\text{C}-\text{N}$ (амид II)	–	1500–1570	–
Валентные колебания связей $\text{C}=\text{C}$ в ароматическом кольце	1500–1570	1500–1570	1500–1570
Валентные колебания $\text{C}=\text{O}$ (амид I)	–	1655	–
Валентные колебания группы $\text{C}=\text{O}$	1721	–	1747

Примечание. Прочерк означает, что соответствующие в ИК-спектрах полосы поглощения не обнаружены.



роды модификатора на качественный состав поверхностных функциональных групп (см. табл. 3).

#### Стендовые микробиологические испытания

Антибактериальные свойства исследуемых образцов изучали по отношению к тест-микроорганизмам грамположительных, грамотрицательных бактерий и к смеси этих культур, предварительно исследованных на устойчивость к антибиотикам в течение времени. В работе использовали грамположительные тест-микроорганизмы (*Staphylococcus aureus*, стафилококк золотистый) и грамотрицательные тест-микроорганизмы (*Pseudomonas aeruginosa*, синегнойная палочка; *Klebsiella pneumoniae*, клебсиелла пневмонии; *Escherichia coli*, кишечная палочка). Кроме того, исследовали смесь испытуемых культур. Все штаммы, выделенные из клинического материала, антибиотикорезистентны.

Антимикотические (противогрибковые) свойства исследуемых образцов изучали по отношению к патогенным дрожжеподобным грибам. Испытуемые грибковые культуры рода *Candida*: *Candida albicans* и *Candida krusei*. Штаммы, выделенные из клинического материала, антибиотикорезистентны.

Полученные результаты стендовых микробиологических исследований показали, что исходный углеродный сорбент активно проявляет антибактериальные свойства только в отношении клеток грамположительных клеток *Staphylococcus aureus* (табл. 4).

Образец № 2 проявляет антибактериальную активность по отношению к грамположительным бактериям *Staphylococcus aureus* при времени контакта не менее 6 ч, к грамотрицательным бактериям *Ps. aeruginosa*, *Kleb. pneumoniae* – не менее 3 ч, *E. coli* – не менее 6 ч, но не проявляет антимикотических свойств по отношению к дрожжеподобным грибам рода *Candida*. Показано, что по истечении 24 ч количество грибов сопоставимо с контролем (см. табл. 4).

Можно предположить, что проявление антибактериальных свойств модифицированного образца № 2 связано с взаимодействием бактериальных клеток с атомом азота в пирролидоновых циклах ПВП. Благодаря наличию гидрофобной полимерной цепи и гидрофильных карбонильных групп в структуре ПВП, возможно физическое связывание бактериальных клеток с полимерной матрицей (адгезия). Связывание, по-видимому, обусловлено также кулоновским взаимодействием отрицательно заряженной мембраны клетки и положительно заряженным протонированным атомом азота в макромолекуле полимера.

Анализ данных табл. 4 показывает, что образец № 3 обладает антибактериальным действием по отношению к грамположительным и грамотрицательным монокультурам, а также к их смесям. Антибактериальное действие данного образца отмечается уже после первого часа контакта с микрофлорой. Но основное отличие данного сорбента состоит в том, что он проявляет антимикотические свойства по отношению к антибиотикорезис-

ТАБЛИЦА 4

Результаты стендовых микробиологических испытаний исследуемых образцов углеродных сорбентов

Культуры	Чувствительность при времени контакта, не менее, ч		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
<i>St. aureus</i> , стафилококк золотистый, Г(+)	3	6	1
<i>Ps. aeruginosa</i> , синегнойная палочка, Г(-)	24	3	1
<i>Kleb. pneumoniae</i> , палочка Фридлендера, Г(-)	24	3	1
<i>E. coli</i> , кишечная палочка, Г(-)	24	6	1
<i>St. aureus</i> и <i>E. coli</i> , Г(+) + Г(-)	24	6	1
<i>St. aureus</i> и <i>Ps. aeruginosa</i> , Г(+) + Г(-)	24	24	1
<i>Candida albicans</i>	Устойчивы	Устойчивы	3
<i>Candida krusei</i>	Устойчивы	Устойчивы	1

Примечание. \*Г(+) – грамположительные бактерии; Г(-) – грамотрицательные бактерии.



тентным штаммам патогенных дрожжеподобных грибов рода *Candida*: *Candida albicans* и *Candida krusei*.

Таким образом, с помощью разработанных способов модифицирования углеродного сорбента ПВП и ПГК получены материалы, проявляющие биоспецифические свойства по отношению к широкому спектру патогенных микроорганизмов. Данные образцы углеродного сорбента могут представлять интерес для сорбционной медицины при лечении инфекционных заболеваний, связанных с накоплением патогенных микроорганизмов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны методы синтеза углеродных сорбентов, проявляющих биоспецифические свойства в отношении патогенных микроорганизмов. Отличительная особенность данных методик – отсутствие в составе получаемых материалов токсичных веществ.

Изучено влияние условий синтеза и природы модификатора на физико-химические свойства углеродного сорбента. Комплексом физико-химических методов исследована пористая структура, элементный и функциональный состав углеродных сорбентов.

При модифицировании углеродного сорбента поливинилпирролидоном можно нанести не менее 7 % полимера. Выбранные условия и параметры модифицирования углеродного материала гликолевой кислотой позволяют прочно закрепить модификатор на углеродном сорбенте в количестве не менее 12 мас. %.

Установлено, что образец, модифицированный поливинилпирролидоном, обладает антибактериальными свойствами, а сорбент, модифицированный полигликолевой кислотой, – антибактериальными и антимикотическими свойствами.

Синтезированные образцы представляют большой интерес для использования в качестве материалов в сорбционной медицине.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИПШУ СО РАН А. Б. Арбузову за проведение исследований образцов методом ИК-спектроскопии, Н. В. Антоничевой за выполнение термического анализа, А. В. Шиловой за проведение элементного анализа образцов.

Отдельная благодарность А. Н. Саланову (Институт катализа СО РАН, Новосибирск) за исследование образцов методом растровой электронной микроскопии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Березняков И. Г. Резистентность к антимикробным препаратам; механизмы возникновения и клиническое значение. Методические рекомендации. Харьков, 2006. 72 с.
- 2 Сухоруков В. П. Антибиотикопрофилактика в хирургии (профилактика инфекции в области хирургического вмешательства): пособие для врачей. Киров: Кировская государственная медицинская академия, 2006.
- 3 Демиховская Е. В. // Болезни и антибиотики. 2012. № 2 (7). С. 32–37.
- 4 Медицина завтрашнего дня: материалы XII межрегиональной межвуз. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 60-летию Читинской государственной медицинской академии, Чита, 23–26 апреля 2013 г. Чита: РИЦ ЧГМА, 2013. 152 с.
- 5 Лисичкин Г. В. Химия привитых поверхностных соединений. М.: Физматлит, 2003. 592 с.
- 6 Покровский С. Н. // Эфферентная терапия. 2003. Т. 9, № 1. С. 42.
- 7 Бакалинская О. Н., Коваль Н. В., Картель Н. Т. // Эфферентная терапия. 2003. Т. 9, № 2. С. 16–22.
- 8 Давыдов В. И. // Укр. хим. журн. 1994. № 7–8. С. 554–559.
- 9 Коваленко Г. А. // Хим.-фарм. журнал. 1998. № 3. С. 36–40.
- 10 Долгих Т. И., Пьянова Л. Г., Бакланова О. Н., Долгих В. Т., Лихолобов В. А., Баринов С. В., Седанова А. В., Баракина О. В. // Сиб. мед. журн. 2013. № 7. С. 77–82.
- 11 Zhenfeng C., Huijuan R., Guixia L., Guangyan H. // J. Rare Earths. 2006. Vol. 24. P. 724.
- 12 Lewandowska K. // Thermochim. Acta. 2011. Vol. 517. P. 90.
- 13 Kim S. J., Park S. J., Kim I. Y., Lee Y. H., Kim S. I. // J. Appl. Polymer Sci. 2002. Vol. 86. P. 1844.
- 14 Loia-Bastarrachea M. I., Herrera-Kao W., Cauich-Rodriguez J. V., Cervantes-Us J. M., Vazquez-Torres H., Avila-Ortega A. // J. Thermal Anal. Calorimetry. 2011. Vol. 104. P. 737.
- 15 Lim R. T. Y., Ng W. K., Reginald B. H. T. // J. Supercrit. Fluids. 2010. Vol. 53. P. 179.
- 16 Uzun I. N., Sipahigil O., Dincer S. // J. Supercrit. Fluids. 2011. Vol. 55. P. 1059.
- 17 Zhou J.-H., Sui Z.-J., Zhu J., Li P., Chen D., Dai Y.-C., Yuan W.-K. // Carbon. 2007. Vol. 45. P. 785.
- 18 Schwarz K., Epple M. // Macromol. Chem. Phys. 1999. Vol. 200. P. 2221–2229.
- 19 Epple M., Herzberg O. // J. Appl. Biomater. 1998. Vol. 43. P. 83–88.
- 20 Пьянова Л. Г., Бакланова О. Н., Лихолобов В. А., Дроздов В. А., Княжева О. А., Седанова А. В. // Химия уст. разв. 2014. Т. 22, № 2. С. 163–173.
- 21 Bartolozzi I., Solaro R., Schacht E., Chiellini E. // Eur. Polymer J. 2007. Vol. 43. P. 4628.
- 22 Wei S. F., Lian J. S., Jian Q. // Appl. Surf. Sci. 2009. Vol. 255. P. 6978.
- 23 Woo H.-Y., Jung W.-G., Ihm D.-W., Kim J.-Y. // Synth. Metals. 2010. Vol. 160, Issues 7–8. P. 588.