

УДК [615.46.014.47:615.28]:546.26

DOI: 10.15372/KhUR20170108

Углеродные энтеросорбенты, модифицированные биологически активными веществами: синтез, свойства и применение

Л. Г. ПЬЯНОВА^{1,2}, В. А. ЛИХОЛОБОВ^{1,2,3}, Л. К. ГЕРУНОВА⁴, А. В. СЕДАНОВА¹, А. В. ЛАВРЕНОВ¹

¹Институт проблем переработки углеводородов Сибирского отделения РАН,
Омск, Россия

E-mail: medugli@rambler.ru

²Омский государственный технический университет,
Омск, Россия

³Омский научный центр Сибирского отделения РАН,
Омск, Россия

⁴Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина,
Омск, Россия

Аннотация

С целью повышения биоспецифических свойств углеродных энтеросорбентов для их использования в ветеринарной медицине предложены способы химического модифицирования их поверхности. Первый предполагает модифицирование углеродной поверхности методом поликонденсации биологически активных веществ (аргинина) и образования полимеров *in situ* (непосредственно на поверхности углеродных сорбентов). Другой способ – импрегнирование модификатора в водорастворимой форме (нанодиспергированного бетулина) в пористую матрицу углеродного носителя. Физико-химические характеристики синтезированных ветеринарных препаратов исследованы рядом методов: 1) метод растровой электронной микроскопии (рельеф и морфология); 2) рентгенофазовый анализ (фазовый состав); 3) метод низкотемпературной адсорбции–десорбции азота (исследование текстуры); 4) рентгеновский микроанализ и элементный CHNOS-анализ (элементный состав); 5) ИК-спектроскопический анализ; 6) метод Кельдаля; 7) метод Н. Р. Boehm; 8) метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (состав функциональных групп на поверхности образцов). Приведены результаты исследований физико-химических свойств углеродного сорбента до и после модификации. Установлено, что в составе полученных образцов присутствуют полиаргинин и бетулин.

Ключевые слова: углеродный сорбент, аргинин, полиаргинин, бетулин, импрегнирование, модификация, физико-химические свойства

ВВЕДЕНИЕ

Энтеросорбция относится к методам сорбционной терапии, основанным на связывании и выведении из желудочно-кишечного тракта токсинов различной природы [1–4]. Механизм действия сорбционных препаратов – связывание токсических веществ в биологических жидкостях путем адсорбции, абсорбции, ионного обмена, комплексообразования.

Особое значение энтеросорбенты имеют в ветеринарной практике. Это связано с широким распространением заболеваний желудочно-кишечного тракта у животных и птиц. Особенно восприимчив к ним молодняк, так как его защитные механизмы, в том числе микробиологическая система кишечника, формируются позже. Так же известно, что человек, будучи конечным звеном пищевой цепи, подвергается значительному риску, потреб-

ляя продукты животноводства с повышенным количеством токсинов, которые накапливаются в органах и тканях животных [5–7].

Требования, предъявляемые к качеству энтеросорбентов для животных, аналогичны критериям для энтеросорбентов медицинского назначения [2]. Широкое применение находят энтеросорбенты на основе кремнезема, углерода, лигнина, хитина и его производных и минеральные энтеросорбенты (бентониты, цеолиты, вермикулиты и др.) [8, 9].

Среди отечественных энтеросорбентов в ветеринарной практике наиболее известны следующие: Зоокарб (Омск); Цамакс (Московская обл., г. Железнодорожный-5); Полифепан (Санкт-Петербург); уголь активированный (Екатеринбург); Энтеросгель (Саратов); Полисорб ВП (Челябинск) и др. [10–20].

Следует отметить, что на ветеринарном фармацевтическом рынке отсутствуют энтеросорбенты пролонгированного и биоспецифического действия. Это связано со сложностью их производства и высокой стоимостью. По этой причине актуально создание новых эффективных модифицированных углеродных сорбентов для детоксикации организма человека и животных, которые не оказывают отрицательного воздействия, удобны в практическом применении для лечения широкого спектра заболеваний, а также позволяют повысить качество продуктов питания животного происхождения.

Для улучшения биоспецифических свойств углеродных сорбентов в работе используют два направления: 1) химическое модифицирование поверхности методом поликонденсации аргинина и образования полимеров *in situ* (непосредственно на поверхности углеродных

сорбентов); 2) импрегнирование в пористую матрицу углеродного носителя нанодиспергированного бетулина в водорастворимой форме. В настоящее время подобные процессы практически не изучены.

Модификаторы, используемые для разработки сорбентов медицинского назначения, должны соответствовать следующим требованиям: 1) нетоксичность; 2) хорошая биосовместимость; 3) растворимость в водных растворах; 4) наличие в структуре функциональных групп, способных вступать в реакцию поликонденсации/полимеризации с образованием олигомерных/полимерных цепей, обуславливающих малую подвижность модификатора в порах носителя; 5) доступность.

Проведенный анализ литературы позволил выделить ряд веществ для модификации углеродной поверхности. В качестве модификаторов в данной работе использовали бетулин и аргинин (табл. 1), которые обладают ценными биологическими свойствами и содержат активные функциональные группы (COOH -, OH -, NH_2 -) с гидрофильными свойствами и гидрофобную цепь $(\text{CH}_2)_n$. Такая структура обеспечивает оптимальный баланс между гидрофильными и гидрофобными взаимодействиями при контакте с токсичными веществами. Молекулы бетулина и аргинина малы по своим размерам (средний диаметр менее 1 нм) и сопоставимы с размерами макро- и мезопор углеродного сорбента.

Используемый в работе в качестве модификатора аргинин (1-амино-4-гуанидиновалериановая кислота, 2-амино-5-пентановая кислота) – алифатическая основная α -аминокислота. Она оптически активная, существует в виде D- и L- изомеров, формула $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_2$. Моляр-

ТАБЛИЦА 1

Свойства модификаторов

| Показатели | Бетулин | Аргинин |
|--|----------------------------|-------------------------|
| Молекулярная масса, г/моль | 442.7 | 174.2 |
| Внешний вид | Белые игольчатые кристаллы | Белый зернистый порошок |
| Средний расчетный диаметр молекулы, нм | 1.4 | 0.8 |
| Температура плавления, °C | 251–261 | 238 |
| Растворимость, г/100 г: | | |
| вода | Не растворим | Растворим |
| этанол | 0.9 (20 °C) 4.3 (78 °C) | Малорастворим |

ная масса (M) 174.2 г/моль. Представляет собой бесцветные кристаллы. Для *D,L*-аргинина, *D*-аргинина и *L*-аргинина температура плавления составляет 220–222, 235–240 и 244 °С соответственно (все изомеры плавятся с разложением); $pK_a = 2.18, 9.09, 13.2$ соответственно; $pI = 10.76$. В водном растворе аминокислота проявляет преимущественно основные свойства. Аргинин неустойчив к щелочам и распадается в слабых щелочных растворах до цитруллина, а в концентрированных – до орнитина [21–23].

В организме аргинин присутствует в свободном виде и входит в состав белков (много аргинина в протаминах), служит главным источником оксида азота (NO) в организме, и все его биологические функции связаны именно с этим.

Бетулин – природное соединение, тритерпеновый спирт ряда лупана. Содержится в березовой коре, коре орешника, календуле и в других лекарственных растениях. Бетулин обуславливает белый цвет коры берез. Его содержание во внешней коре колеблется от 10 до 35 % в зависимости от вида березы, места и условий ее произрастания, возраста дерева, сезона [24, 25].

Бетулин – $C_{30}H_{50}O_2$ ($M = 442.7$ г/моль), кристаллический порошок кремового или белого цвета, плохо растворим в воде, спирте, жировых основах. Биологические свойства бетулина известны с XIX в. Так, в 1899 г. Виллер указал на антисептические свойства бетулина, благодаря чему его стали применять для стерилизации ран, порезов в виде пластырей.

Бетулин и его производные обладают фармакологической активностью: противовирусной, иммуностимулирующей, противовоспалительной, онкопротекторной, противобактериальной, что определяет перспективность его применения в фармацевтической промышленности. Доказано, что бетулин нетоксичен, не обладает канцерогенными, мутагенными, аллергенными и кожнораздражающими свойствами. Бетулин безопасен для животных, проявляет гастрозащитный эффект [25, 26].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования служил мезопористый углеродный энтеросорбент Зоокарб. Об-

разец соответствовал требованиям ТУ 9318-003-71069834-2006 и представлял собой блестящие сферические гранулы диаметром 0.1–1.0 мм, черного или серебристого цвета, без запаха. Массовая доля углерода в образце не менее 99.5 %; потеря массы при высушивании не превышала 0.10 %; остаток после прокаливания – не более 0.5 %; адсорбционная активность по метиленовому голубому – не менее 30 мкг/мг. Согласно результату ситового анализа, остаток на сите с диаметром отверстий 1.0 мм и прошедший через сите с диаметром отверстий 0.1 мм не превышал 0.5 %.

Для модификации поверхности мезопористого углеродного сорбента применяли следующие вещества:

- биологически активный компонент бетулин ($M = 442.7$ г/моль; средний диаметр 1.4 нм), полученный в Институте химии и химической технологии СО РАН (Красноярск); этиловый спирт ректифицированный технический по ГОСТ 18300 (ООО ЛВЗ “ОША”, Омск); глицерин по ГОСТ 6259–75 (ОАО “Жигровой комбинат”, Саратов);

- *L*-аргинин ($M = 174.2$ г/моль; средний диаметр 0.8 нм) производства Panreac (Испания).

Рельеф и морфологию поверхности исследуемых образцов сорбента изучали методом растровой электронной микроскопии с использованием электронного микроскопа JSM-6460 LV (Jeol, Япония) (ИК СО РАН, Новосибирск).

Текстура образцов исследована адсорбционным методом по низкотемпературной адсорбции–десорбции азота при -195.7 °С на объемной статической вакуумной установке Sorptomatic-1900 (Carlo Erba, Италия) и на анализаторе Gemini 2380 (Micromeritics, США). Образцы предварительно тренировали в вакууме при температуре 300 °С (исходный образец) и 40–60 °С (модифицированные образцы) в течение 6–8 ч. Температуру термотренировки модифицированных образцов выбрали с учетом температур плавления модификаторов и образующихся полимеров в результате поликонденсации.

Удельную поверхность определяли по методу БЭТ ($S_{\text{БЭТ}}$, расчет в области значений $P/P_0 = 0.05–0.33$). По данным изотермы адсорбции азота, в области относительных давлений паров азота $P/P_0 = 10^{-4}–10^{-1}$ рассчи-

тывали объем пор V_{Σ_1} и V_{Σ_2} при значениях P/P_0 , равных 0.999 и 0.996 соответственно. Плотность адсорбата считали равной плотности нормальной жидкости ($\rho_{N_2/\text{ж}} = 0.808 \text{ г}/\text{см}^3$). Удельный объем макропор $V_{\text{макро}}$ оценивали по разности: $V_{\Sigma_1} - V_{\Sigma_2}$. Объем мезопор $V_{\text{мезо}}$ определяли как разность: $V_{\Sigma_2} - V_{\text{микро}}$, где $V_{\text{микро}}$ – объем микропор (сравнительный t -метод).

Элементный CHNOS-анализ проводили на элементном анализаторе Vario EL Cube Elementar (Омский центр коллективного пользования, ОмЦКП ОНЦ СО РАН). Образцы автоматически подавали в зону сжигания с помощью автосамплера, оборудованного шариковым краном. Содержание элементов определяли с использованием детектора по теплопроводности (катарометра).

Качественный анализ функциональных групп на поверхности образцов углеродного сорбента проводили методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) на приборе Nicolet-IR5700 (Intertech Corporation, США) в ОмЦКП ОНЦ СО РАН. Методика исследований заключалась в приготовлении образца в виде очень тонкого однородного слоя, напыленного методом седиментации мелких частиц в стеклянном цилиндре высотой 25 см на пластинку BaF_2 . Исследования проводили в спектральном диапазоне 750–7000 см^{-1} с разрешением 4 см^{-1} и числом сканирования 32. Небольшие порции углеродного материала вдували через отверстие в верхней части цилиндра и после седиментации крупных частиц (в течение 2–3 мин) в цилиндр помещали пластинку BaF_2 . Седиментация мелких частиц протекает примерно 1 ч. Процедуру повторяли 5–7 раз для достижения нужной толщины слоя, затем проводили регистрацию ИК-спектров. Спектры обрабатывали в программном пакете Origin (коррекция базовой линии и сглаживания).

Для проведения рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) использовали прибор ES-300 Kratos Analytical. Шкалу энергии связи $E_{\text{св}}$ предварительно калибровали по положению пиков $\text{Au}4f_{7/2}$ ($E_{\text{св}} = 84.0 \text{ эВ}$) и $\text{Cu}2p_{3/2}$ (932.7 эВ) [27]. Спектры приведены без поправок на подзарядку из-за высокой проводимости образцов. Образцы перед измерениями перетирали в агатовой ступке и закрепляли на держателе с помощью липкой вакуумной ленты. Посторонние примеси на образце по обзорным спектрам не обнаружены [28].

Содержание общего азота в структуре углеродного энтеросорбента определяли методом Кье́льдаля [29].

Состав и содержание кислородсодержащих групп исследовали титриметрическим методом анализа Н. Р. Boehm [30, 31].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Синтез композиционного ветеринарного препарата “Бетулин в углеродной микросфере”

При модифицировании углеродного сорбента бетулином одной из основных задач была разработка технологических приемов по переводу бетулина в водорастворимое состояние при варировании его дисперсности.

В качестве растворителей использовали этиловый спирт и смесь этанол/глицерин (92 : 8 об. %). Нанесение растворенного в глицерине бетулина на гидрофобную поверхность углеродного носителя способствовало полной его десорбции в биологическую среду организма животного. Подбор растворителя и физико-химические параметры контроля процесса импрегнирования нанодиспергированным бетулином углеродного сорбента опубликованы ранее [32].

Стадии процесса получения углеродного сорбента, импрегнированного бетулином:

1. Приготовление 1 % этанольно-глицеринового раствора бетулина с массовым соотношением бетулин/глицерин/этанол = 0.07 : 0.14 : 1.

2. Пропитка мезопористого углеродного сорбента спиртовым раствором бетулина с глицерином при массовом соотношении раствор бетулина/углеродный носитель = 0.4 : 1.

3. Выделение этилового спирта из реакционной смеси в реакторе-пропитывателе по окончании процесса пропитки сорбента.

4. Сушка препарата при температуре 150 °C.

5. Упаковка опытных партий препарата “Бетулин в углеродной микросфере”: высушенный препарат охлаждается до комнатной температуры и упаковывается.

Синтез энтеросорбента, модифицированного полиаргинином

Модификация углеродного сорбента аргинином проводили в несколько этапов.

Этап 1. Пропитка образца углеродного сорбента в течение 1 ч 15 % водным раствором аргинина (рН 10.76) при соотношении сорбент/раствор модификатора = 1 : 5, температура (20 ± 2) °C, непрерывное перемешивание.

Этап 2. Термообработка пропитанного сорбента при температуре (105 ± 2) °C до постоянной массы.

Этап 3. Высокотемпературная поликонденсация образца сорбента в кварцевой лодочке в потоке инертного газа. Образец выдерживали в проточной печи в атмосфере аргона в течение 15 мин при температуре (160 ± 2) °C для более прочного закрепления модификатора на углеродном материале.

Этапы 4–5. Повторная пропитка и сушка сорбента при условиях, аналогичных этапам 1–3.

Мономеры, не вступившие в реакцию поликонденсации, удаляли промывкой в дистиллированной воде в течение 1 ч при непрерывном перемешивании суспензии.

Физико-химические характеристики модифицированных энтеросорбентов

Исследование рельефа, морфологии и текстурных характеристик углеродных сорбентов. Рельеф и морфологию поверхности исследуемых образцов сорбентов изучали методом растровой электронной микроскопии (рис. 1). Видно, что при выбранных условиях синтеза используемые в качестве модификаторов бетулин и глицерин на поверхности сорбента распределены локально с заполнением

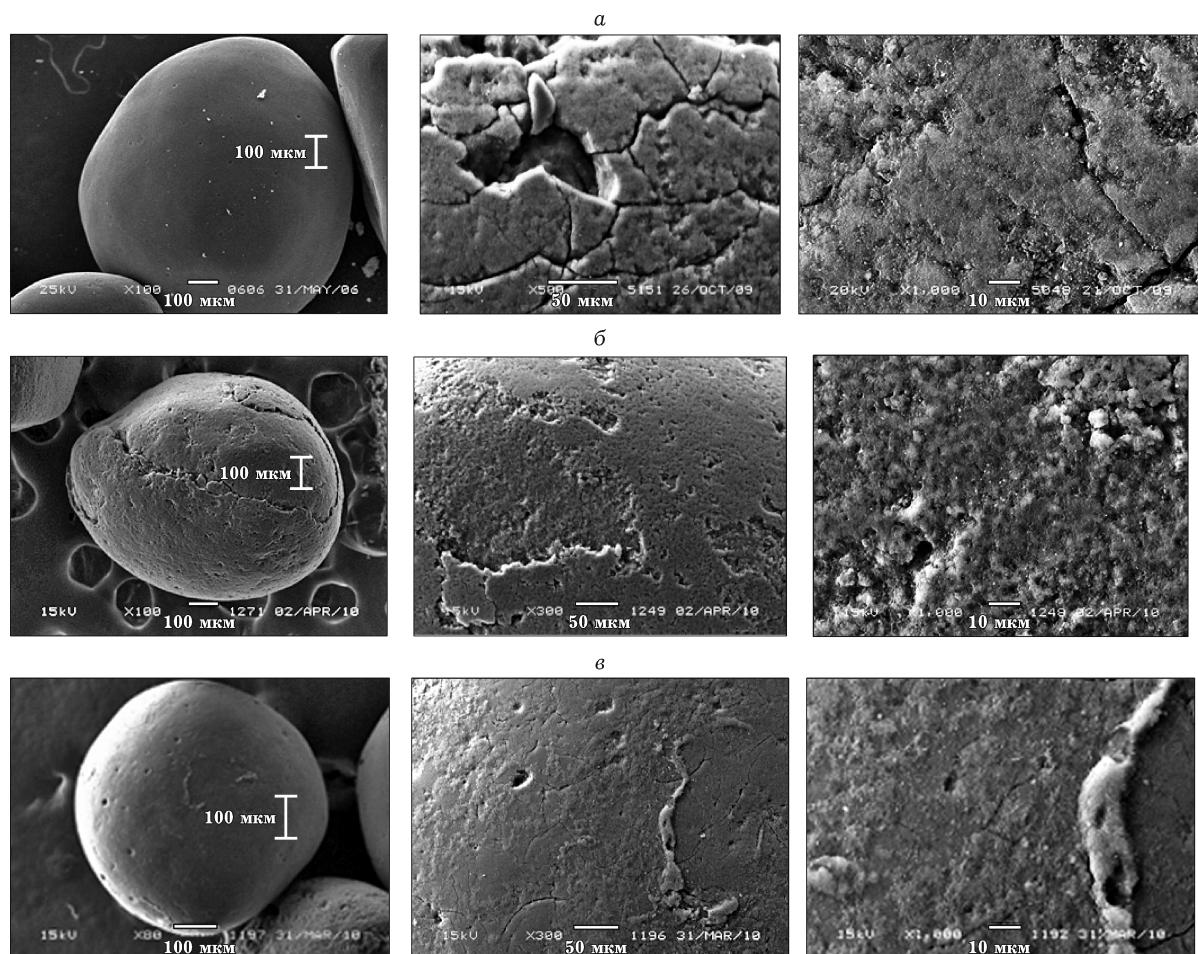


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки гранул и поверхности исследуемых образцов мезопористого углеродного материала: *а* – исходный (ув. 100, 500, 1000 соответственно); *б* – импрегнированный бетулином (ув. 100, 300, 1000 соответственно); *в* – импрегнированный полиаргинином (ув. 80, 300, 1000 соответственно).

ТАБЛИЦА 2

Текстурные характеристики исследуемых образцов углеродного сорбента

| Образцы сорбента | $S_{\text{БЭТ}}$, м ² /г | Суммарный объем пор, см ³ /г | Объем пор, см ³ /г | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------|----------|-----------|
| | | | микропоры | мезопоры | макропоры |
| Исходный | 306±12 | 0.398 | 0.016 | 0.351 | 0.031 |
| Модифицированный бетулином | 228±6 | 0.363 | — | 0.335 | 0.028 |
| Модифицированный полиаргинином | 212±4 | 0.249 | — | 0.229 | 0.020 |

Примечание. Прочерк означает, что микропоры отсутствуют.

щелей, каналов, пор. На сорбент бетулин нанесен в виде мелкодисперсных частиц.

Пропитка раствором аргинина и последующая поликонденсация модификатора на поверхности углеродного сорбента при выбранных параметрах модификации привела к локальному ("островковому") распределению полимерной пленки в виде "наростов" или "наслоений" на поверхности сорбента. При модификации углеродного материала происходит заполнение порового пространства модификатором, при этом соответственно уменьшаются удельная поверхность и суммарный объем пор сорбента.

В табл. 2 представлены текстурные характеристики исследуемых образцов.

Методом рентгенофазового анализа подтверждено, что процесс модификации углеродного энгеросорбента выбранными модификаторами не изменяет структуру углеродного сорбента.

Следовательно, все свойства материала, обусловленные его природой, сохраняются (мезопористая структура, прочность, биосовместимость и др.).

Объемный элементный состав образцов.

Анализ данных, полученных на элементном CHNOS-анализаторе (в объеме материала),

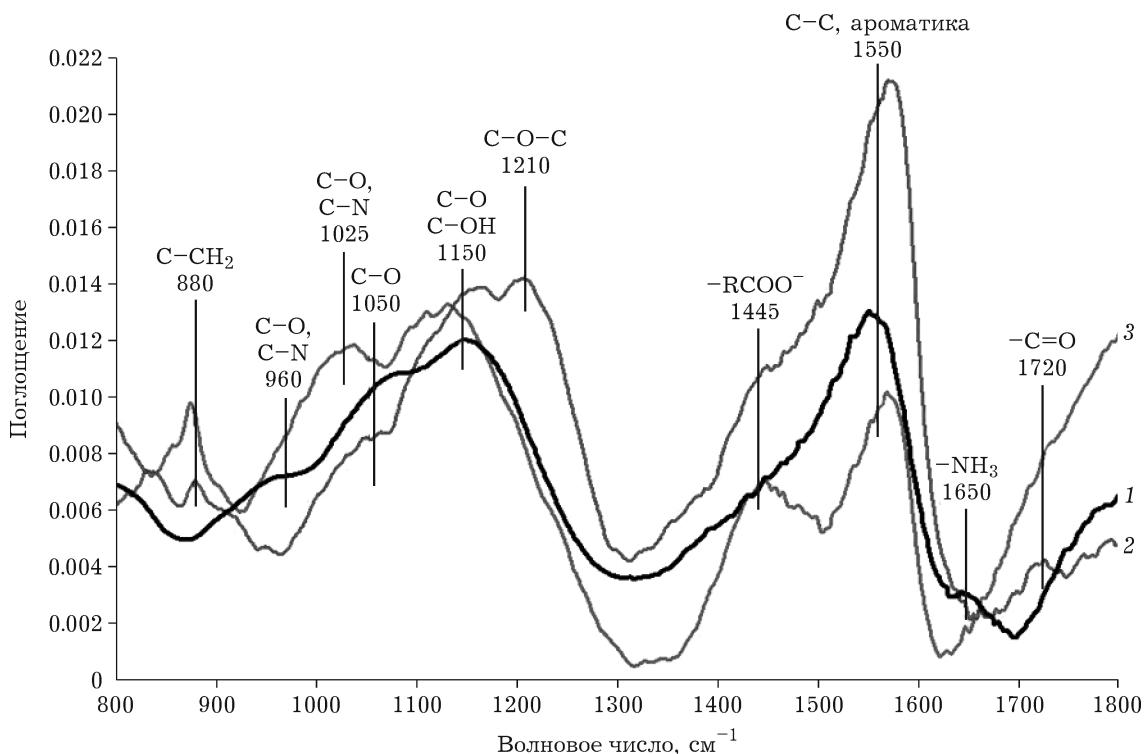


Рис. 2. ИК-спектры образцов исходного сорбента (1), модифицированного бетулином (2) и полиаргинином (3).

показал, что нанесение модификатора влияет на элементный состав образцов. При модификации углеродного сорбента бетулином в нем снижается общее содержание углерода – от (98.46 ± 0.26) до $(9750 \pm 0.09)\%$, но повышается содержание водорода (от (0.27 ± 0.08) до $(0.37 \pm 0.01)\%$) и кислорода (от (0.96 ± 0.07) до $(1.25 \pm 0.06)\%$).

Поликонденсация аргинина на поверхности углеродного сорбента приводит к снижению общего содержания углерода от (98.46 ± 0.26) до $(90.89 \pm 0.29)\%$, к повышению содержания водорода (от (0.27 ± 0.08) до $(0.95 \pm 0.08)\%$), кислорода (от (0.96 ± 0.07) до $(4.78 \pm 0.04)\%$) и к появлению в составе образца азота – до $(3.18 \pm 0.09)\%$.

Качественный состав поверхностных функциональных групп. Методом ИК-спектроскопии получены спектры модификаторов, исходного сорбента и модифицированных образцов.

При пропитке бетулином углеродного сорбента в ИК-спектре исчезла полоса поглощения в области 1735 cm^{-1} , соответствующая колебаниям карбонильных, карбоксильных групп. Происходит значительное увеличение полос поглощения в области $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям связи $\text{C}-\text{O}$ в спиртах и фенолах (рис. 2).

Наблюдаемое перераспределение функциональных групп на поверхности углеродного сорбента можно объяснить внесением в его пористую структуру модификатора, который имеет двойную связь $\text{CH}_2=\text{C}$ и соответствующие функциональные группы (CH_3 , CH_2 , CH). Анализ ИК-спектров аргинина показал, что аминокислота находится в ионизованном состоянии, т. е. в виде биполярных ионов (цвиттер-ионов). Отмечаются полосы поглощения неионизированной группы $\text{C}=\text{O}$. При модификации углеродного материала полиаргинином возрастает интенсивность п.п. при 1157 и 1205 cm^{-1} , появляются п.п. при 1065 и 965 cm^{-1} , отвечающие колебаниям связей $\text{C}-\text{O}$ и $\text{C}-\text{N}$, что может указывать на модификацию соответствующей аминокислотой (см. рис. 2). Следует отметить появление п.п. при 1651 cm^{-1} в образцах, содержащих аргинин в качестве модификатора. Она может соответствовать, прежде всего, как асимметричным деформационным колебаниям NH_3^+ , так и группе $\text{C}=\text{O}$, сопряженной с ароматическим кольцом.

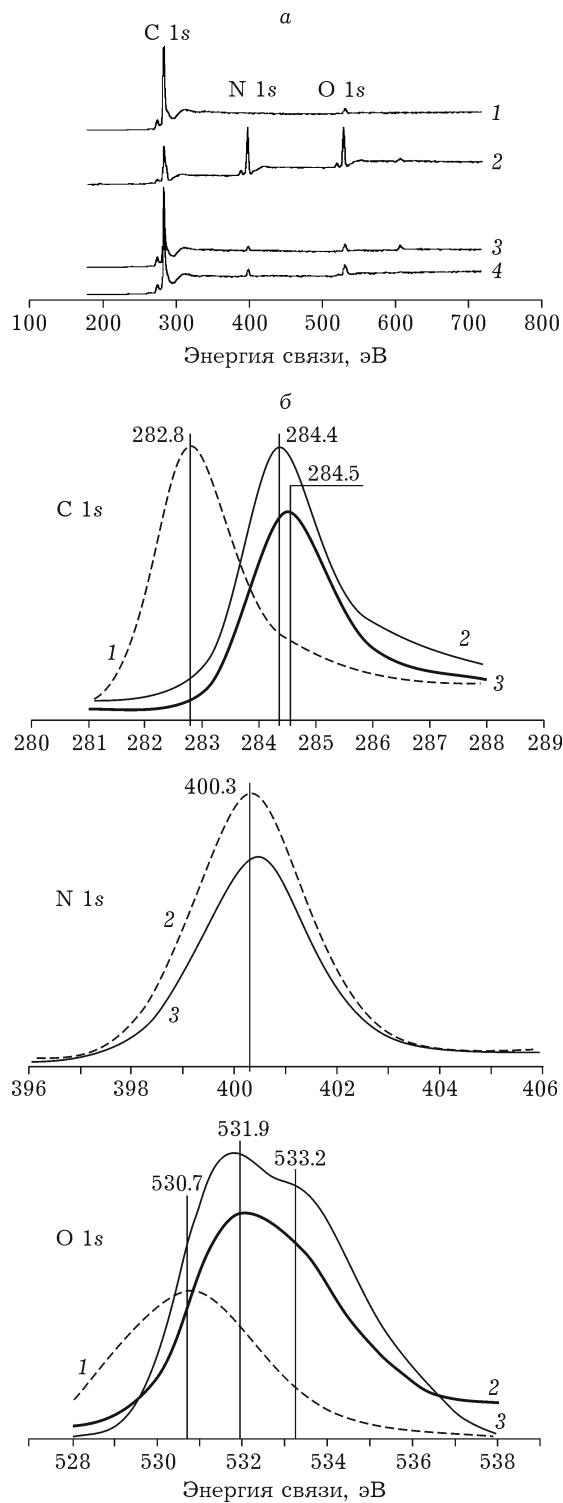


Рис. 3. Обзорные РФЭ-спектры (а: 1 – исходный углеродный сорбент, 2 – аргинин, 3, 4 – углеродный сорбент, модифицированный аргинином после первой (3) и повторной пропитки (4)) и узкие спектральные районы C1s, O1s и N1s исследуемых образцов углеродного сорбента (б: 1 – исходный; 2 – модифицированный аргинином, после первой пропитки и поликонденсации; 3 – модифицированный аргинином, после второй пропитки и поликонденсации).

Таким образом, результаты ИК-спектроскопии показывают, что модификация углеродного сорбента биологически активными веществами приводит к изменению качественного состава функциональных групп.

На рис. 3, а представлены обзорные рентгеновские фотоэлектронные (РФЭ) спектры образцов исходного углеродного сорбента, модификатора аргинина, а также модифицированных аргинином образцов.

Появление спектральной линии N1s в районе 400.3 эВ связано с функционализацией поверхности углеродного сорбента аргинином. На рис. 3, б указаны узкие спектральные районы C1s, O1s и N1s, записанные с высокой точностью, для различных образцов углеродного сорбента. Анализ спектров в районе C1s показал, что в процессе модификации значительно уменьшается интенсивность линии, а пик постепенно смещается с 282.8 до 284.5 эВ вследствие экранирования поверхности углеродного сорбента модификатором. Из спектров O1s видно, что интенсивности соответствующих линий в модифицированных образцах возрастают, особенно для образца после второй пропитки с поликонденсацией (кривая 3). Пик в области 530.7–531.9 эВ можно отнести к атомам углерода, связанным с группой OH в спиртовых группах, фенольных Ph-OH группах. Интенсивная линия в области 533.2 эВ характеризует энергию связи O=C-OH.

Анализ РФЭ-спектров в районе N1s показал, что модификация исходного образца приводит к появлению пика в области 400.3 эВ, соответствующего пептидной связи C-NO. Интенсивность линий увеличивается для модифицированного аргинином образца после второй пропитки с поликонденсацией

(кривая 3), что связано с полнотой проведения технологического процесса.

Таким образом, характер и интенсивность спектральных линий в районах C1s, O1s и N1s, полученные методом РФЭС, подтверждают влияние процесса модификации сорбента полиаргинином на структуру и состав поверхностных функциональных групп.

Титриметрическое определение общего азота. Определение общего азота, проведенное по методу Кельдаля, позволило установить, что в структуре модифицированного образца присутствует азот в количестве $(3.12 \pm 0.62)\%$. Таким образом, в результате химического модификации выбранной аминокислотой изменяются состав и содержание функциональных групп на поверхности углеродного сорбента.

Титриметрическое определение кислородсодержащих групп. Установлено, что общее количество кислородсодержащих групп на поверхности образца, модифицированного полиаргинином, увеличивается в 4 раза, карбоксильных групп – в 5.6 раза, фенольных – в 1.3 раза (табл. 3).

Общее количество кислородсодержащих групп в образце, модифицированном бетулином, несколько выше по сравнению с исходным образцом, а количество фенольных групп повышается в 1.7 раза. Результаты анализа подтверждают нанесение модификаторов на поверхность сорбента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны способы модификации углеродного энтеросорбента Зоокарб. Проведено модификация углеродной поверх-

ТАБЛИЦА 3

Содержание кислородсодержащих групп в исследуемых образцах

| Образцы сорбента | Содержание азота, % | Содержание групп, мэкв/г | | | Основные | |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------|-------------|-------------|--|
| | | Кислородные | | | | |
| | | Общие | Карбоксильные | Фенольные | | |
| Исходный | – | 0.087±0.003 | 0.051±0.004 | 0.036±0.002 | – | |
| Модифицированный бетулином | – | 0.098±0.005 | 0.037±0.005 | 0.061±0.003 | – | |
| Модифицированный полиаргинином | 3.12±0.62 | 0.329±0.002 | 0.282±0.006 | 0.047±0.004 | 0.272±0.008 | |

Примечание. Прочерк – не определено данным методом исследования.

ности методом поликонденсации аргинина и импрегнирование в пористую матрицу углеродного носителя нанодиспергированного бетулина в водорастворимой форме.

Исследованы физико-химические характеристики разработанных модифицированных сорбентов. Изучение текстурных характеристик модифицированных углеродных сорбентов показало, что происходит заполнение порового пространства материала модификатором. При этом изменяются удельная площадь поверхности и суммарный объем пор. Мезопористый характер поверхности сохраняется. Результаты исследования подтверждают наличие локального покрытия поверхности сорбента: бетулин на сорбент нанесен в виде мелкодисперсных частиц, полиаргинин – в виде полимерных пленок разнообразной формы.

Анализ качественного и количественного состава функциональных групп на углеродном сорбенте позволил установить, что модификация сорбентов бетулином и полиаргинином приводит к увеличению количества кислородсодержащих групп: фенольных – в 1.3–1.7 раза, карбоксильных групп – в 5.6 раза. Выявленная закономерность согласуется с литературными данными по влиянию кислородсодержащих модификаторов (кислорода, пероксида водорода и др.) на кислотно-основные свойства углеродных материалов.

Полученные результаты позволяют предположить, что локальное нанесение модификаторов на образцы углеродного сорбента и повышенное содержание поверхностных кислород- и азотсодержащих групп положительно отразится на адсорбционных свойствах синтезированных материалов по отношению к веществам с низко- и среднемолекулярной массой.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИППУ СО РАН В. А. Дроздову, А. Б. Арбузову за проведение исследований методом ИК-спектроскопии, А. В. Шиловой за проведение элементного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Беляева О. А., Семенов В. Г. // Аптека. 2003. № 30. С. 7.
- 2 Беляков Н. А. Энтеросорбция. Л.: Центр сорбционных технологий, 1991. 301 с.
- 3 Кручинский Н. Г. // Совр. методы диагностики, лечения и профилактики заболеваний. 2002. Т. 5, Вып. 2. С. 330–360.
- 4 Лысиков Ю. А. Технологии энтеросорбции при заболеваниях печени. Клинический отчет Института питания РАМН. М., 2002. 28 с.
- 5 Иванов А. В., Тремасов М. Я., Папуниди К. Х. // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2010. № 1. С. 192.
- 6 Юшков Ю. Г. Микотоксикозы – значение, диагностика, борьба [Электронный ресурс]: <http://www.laboratorium.narod.ru/18/muko.htm>
- 7 Папуниди К. Х., Иванов А. В., Зухрабов М. Г. // Тр. Второго съезда ветеринарных врачей Республики Татарстан. Казань, 2001. С. 192–197.
- 8 Ермакова Е. И., Степанов В. И., Бикташев Р. У. // Ветеринарный врач. 2013. № 6. С. 8–10.
- 9 Тремасов М. Я. // Ветеринарный врач. 2010. № 5. С. 16–19.
- 10 Грекова А. А. // Сб. науч. тр. Ставропольского науч.-иссл. ин-та животноводства и кормопроизводства. 2009. Т. 1, № 1–1. С. 136–139.
- 11 Дидух А. В. // Біологія тварин (The animal biology). 2010. Т. 12, № 2. С. 280–284.
- 12 Довгань Н. Б. // Вопр. нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2010. № 4. С. 113–115.
- 13 Лендясова Л. А. // Омск. науч. вестн. 2006. № 7. С. 153–154.
- 14 Медведева Н. Н., Жуков Е. Л. // Вестн. Краснояр. гос. аграрного ун-та. 2010. № 2. С. 93–96.
- 15 Нуржанов Б. С., Жаймышева С. С. // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2011. Т. 2, № 30–1. С. 111–113.
- 16 Пат. 2115333 РФ, 1998.
- 17 Плещакова В. И., Герунова Л. К., Колова А. Е. // Тр. Кубан. гос. аграрного ун-та. 2009. Т. 1, № 21. С. 143–146.
- 18 Харламов В. К., Уша Б. В. // Ветеринария. 2013. № 1. С. 48–50.
- 19 Николаев В. Г. // Вестник медицины. 2007. Вып. 4. С. 7–17.
- 20 Хотимченко Ю. С., Кропотов А. В. // Тихоокеан. мед. журн. 1999. № 2. С. 84–89.
- 21 Общая органическая химия. Т. 10. Нуклеиновые кислоты, аминокислоты, пептиды, белки / под ред. Д. Бартона, У. Д. Оллиса М. : Химия, 1986. 704 с.
- 22 Основы биохимии / под ред. А. Уайта, Ф. Хендлера, Э. Смита, Р. Хилла, И. Лемана. М.: Мир, 1981. 534 с.
- 23 Практикум по биохимии: учеб. пособие / под ред. С. Е. Северина, Г. А. Соловьевой. М. : Изд-во МГУ, 1989. 509 с.
- 24 Кузнецов Б. Н., Кузнецова С. А., Левданский В. А., Судакова И. Г., Веселова О. Ф. // Химия уст. разв. 2005. Т. 13, № 3. С. 391–400.
- 25 Толстиков Г. А., Флехтер О. Б., Шульц Э. Э., Балтина Л. А., Толстиков А. Г. // Химия уст. разв. 2005. Т. 13, № 1. С. 1–30.
- 26 Флехтер О. Б. // Хим.-фарм. журн. 2002. Т. 36, № 9. С. 29–32.
- 27 Yu B. // Tribology Int. 2015. Vol. 81. P. 38–42.
- 28 Moulder J. F. Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy. Perkin-Elmer: Eden Prairie, MN, 1992. 261 p.
- 29 Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists / Ed. by W. Horwitz. Washington D.C, 1970. 769 p.
- 30 Boehm H. P. // Advan.Catal. 1966. Vol. 16. P. 179–274.
- 31 Jagiello J., Bandosz T. J., Schwarz J. A. // Carbon. 1992. Vol. 30. P. 63–69.
- 32 Лавренов А. В., Пьянова Л. Г., Седанова А. В., Лузянина Л. С. // Химия тв. топлива. 2015. № 1. С. 9–16.

