

Нанотехнология синтеза углеродных сорбентов

УДК 661.183

Новые гемо- и энтеросорбенты на основе нанодисперсных углерод-углеродных материалов

В. Ф. Сурувкин, Л. Г. Пьянова, Л. С. Лузянина

ВИТАЛИЙ ФЁДОРОВИЧ СУРОВКИН — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем переработки углеводородов Сибирского отделения Российской академии наук (ИППУ СО РАН). Область научных интересов: синтез наноуглерода и материалов на его основе, технология получения углеродных материалов.

ЛИДИЯ ГЕОРГИЕВНА ПЬЯНОВА — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории синтеза функциональных углеродных материалов ИППУ СО РАН. Область научных интересов: синтез и исследование углеродных материалов медицинского и ветеринарного назначения.

ЛЮДМИЛА СЕМЁНОВНА ЛУЗЯНИНА — ведущий инженер лаборатории синтеза функциональных углеродных материалов ИППУ СО РАН. Область научных интересов: синтез и исследование углеродных материалов медицинского и ветеринарного назначения.

644018 Омск, Нефтезаводская ул., д. 54, ИППУ СО РАН, тел. (8-3812)56-02-09, 56-15-28, факс (8-3812)56-02-11, E-mail medugli@ihcp2.oscsbras.ru

Введение

Активный уголь как сорбент впервые был применен для медицинских целей. Основоположник античной медицины Гиппократ (400 лет до н.э.) со ссылкой на более древние египетские источники рекомендовал присыпать раны и язвы древесным углем для ускорения заживления, им же описано применение угля внутрь для лечения отравлений и уремии.

Начало отсчету новой эры в применении активного угля, в том числе и в медицине, положил ряд открытий, сделанных XVIII веке. Так, Ф. Фонтана (1777 г.), К. Шееле (1780 г.), Т.Е. Ловиц (1785 г.) показали высокую сорбционную активность древесного угля по отношению к различным веществам. Однако систематическое исследование антитоксических свойств угля началось лишь в XX веке.

С 1950-х годов появляются публикации о применении ионообменных смол для удаления из организма токсичных веществ путем сорбции их при контакте смол с кровью. Этот процесс получил название гемоперфузии [1, 2].

В 1964 г. греческий нефролог Г. Ятцидис (Yatzidis) сообщил об успешном применении в качестве адсорбента при перфузии промышленного активного угля [3–5] при непосредственном контактировании с ним крови животных. Значительных успехов было достигнуто и при лечении людей с заболеваниями печени, почек; отравившихся различными ядовитыми веществ-

вами, для чего кровь больных впервые в медицинской практике пропускалась через слой угля.

Первый опыт применения промышленного активированного угля в медицинской практике в качестве сорбента показал его эффективность, которая обусловлена высокой адсорбционной активностью угля к токсичным веществам (мочевая кислота, креатинин), накапливающимся в организме больных. Вместе с тем были выявлены и отрицательные свойства промышленных углей как медицинских сорбентов: невысокая прочность гранул, возможность их разрушения в процессе гемоперфузии с выделением мельчайшей углеродной пыли в кровь, далее разносимой ею по внутренним органам; наличие в составе угля большого количества минеральных примесных веществ, способных переходить в биологическую жидкость при контакте с ней; травмирование и сорбция форменных элементов крови; удаление из организма вместе с токсинами и жизненно необходимых веществ. Отмеченные недостатки углей приостановили на долгие годы развитие сорбционной области медицины — технологии применения активных углей в лечебных целях.

В Советском Союзе первую процедуру удаления токсичных веществ с помощью промышленных активных углей провели 6 сентября 1970 г. Ю.М. Лопухин и М.Н. Молоденков [6], которые назвали ее гемосорбцией. Дальнейшие исследования советских ученых подтвердили эффективность применения угля

в качестве сорбента при лечении различных заболеваний. Область применения углей для искусственной детоксикации организма значительно расширилась. Гемосорбция стала одним из эффективных методов эфферентной терапии, направленных на сохранение внутренней среды организма человека путем выведения ядовитых, балластных или потенциально опасных веществ экзо- и эндогенного характера.

Целью настоящего обзора является систематизация данных по технологии получения, физико-химическим свойствам и применению гемо- и энтеросорбентов различного происхождения, в основном углеродных материалов.

Уникальные свойства углеродных сорбентов — химическая чистота, совместимость с биологическими жидкостями, инертность к тканям внутренних органов, высокая прочность гранул, возможность регулирования их пористой структуры (физическое модифицирование) и химической природы поверхности (химическое модифицирование) — позволили расширить область их применения.

В настоящее время создание материалов с повышенной адсорбционной активностью по отношению к определенным патологическим веществам путем регулирования химической природы их поверхности представляет значительный интерес. На основе таких материалов разрабатываются селективные сорбенты, в том числе для выделения и разделения белковых соединений.

Механизм детоксикации организма с помощью сорбентов

Детоксикация — это комплекс биохимических и биофизических реакций организма, направленных на сохранение химического гомеостаза, обеспечиваемый кооперативной функцией нескольких систем естественной детоксикации (иммунной системы крови, детоксикационной системы печени и системы органов выведения) [7].

Контакт поверхности сорбента с биологической жидкостью (искусственная детоксикация) практически моделирует естественные механизмы детоксикации организма: поглощение токсичных веществ сорбентом, биотрансформацию токсинов на его поверхности, каталитическое действие сорбента на протекающие процессы, способность к разрушению комплекса белок—эндотоксин. Дополнительным лечебным эффектом гемосорбции является значительное повышение чувствительности организма к лекарственным препаратам, а энтеросорбции — стимуляция работы кишечника [8—10].

При сорбции токсичных веществ углеродным сорбентом с гидрофобной поверхностью основным механизмом детоксикации выступает физическая адсорбция, обусловленная действием дисперсионных сил. При этом эффективность адсорбции определяется соразмерностью молекул адсорбируемых веществ и пор сорбента, поэтому известные углеродные сорбенты обладают различной активностью и инертностью по отношению к форменным элементам крови (табл. 1, 2) [6, 8].

Путем подбора сорбентов с определенной структурой поверхности из организма можно удалить широкий спектр различных веществ.

Таблица 1

Размеры форменных элементов крови	
Форменные элементы крови	Диаметр, нм
Эритроциты	
нормоциты	$7,5 \cdot 10^3$
микроциты	$< 7,5 \cdot 10^3$
макроциты	$> 7,5 \cdot 10^3$

Таблица 2

Эффективные размеры небольших частиц, молекул и ионов	
Частицы	Размер, нм
Дрожжи и грибы	1000—10000
Бактерии	300—10000
Частицы масляных эмульсий	100—10000
Твердые коллоидные частицы	100—1000
Вирусы	30—300
Белки и полисахариды (мол. масса 10000—1000000)	2—10
Ферменты (мол. масса 10000—100000)	2—5
Антибиотики (мол. масса 300—1000)	0,6—1,2
Органические молекулы (мол. масса 30—500)	0,3—0,8
Неорганические ионы (мол. масса 10—100)	0,2—0,4
Вода (мол. масса 18)	0,2

Гемосорбенты

К сорбентам медицинского назначения, непосредственно контактирующим с биологической жидкостью организма, предъявляются особые требования к качеству [11]: высокая степень химической чистоты; минимальное содержание примесей; нетоксичность; большая механическая прочность и гладкий рельеф поверхности гранул; высокая сорбционная емкость по отношению к удаляемым веществам; совместимость с кровью и инертность по отношению к форменным элементам крови; отсутствие пылеобразования (выделения ультрадисперсных частиц).

Промышленные активные угли и основные технологии их получения

Основные свойства активных углей определяются как природой исходного сырья, так и технологией их производства.

Технология получения традиционных промышленных активных углей трехстадийная: на начальной стадии осуществляется подготовка исходного сырья (дробление, рассев, формование гранул и др.), затем следуют две стадии термической обработки — карбонизация (пиролиз) и активация (газификация), которые обеспечивают увеличение содержания углерода и создание пористой структуры поверхности.

Получаемые по такой технологии из природного сырья (древесина, торф, ископаемые угли) активные угли обладают в основном микропористой структурой, ограничивающей их адсорбционную активность по отношению к веществам с молекулярной массой более 500 Д. Гранулы углей имеют произвольную форму и шероховатый рельеф поверхности; они непрочные,

разрушаются при гемосорбции с выделением в кровь тонкой пыли. Такой характер поверхности приводит к травмированию клеток крови, после контакта с сорбентом снижение количества тромбоцитов и лейкоцитов может доходить до 80% [6]. Угли содержат в большом количестве минеральные примеси (соединения калия, кальция, натрия, магния, железа, алюминия, кремния и др.) [6], которые не только ухудшают адсорбционные и структурные свойства угля, но и могут переходить в кровь.

Введение в технологию операций по снижению содержания минеральных примесей (деминерализация), повышению прочности гранул и улучшению рельефа поверхности (капсулирование и дополнительная обкатка гранул) позволили улучшить качество угля и не повлияли на их микропористый характер.

Сложившаяся ситуация стимулировала проведение исследований, направленных на создание новых сорбентов высокого качества на основе специальных видов сырья и технологий. Применительно к медицинской практике основное внимание уделяется разработке углеродных сорбентов, обладающих рядом специальных и уникальных свойств: высокой совместимостью с кровью и другими биологическими жидкостями; способностью адсорбировать гидрофобные токсичные вещества, практически не удаляемые сорбентами иной природы; инертностью к тканям внутренних органов; широким диапазоном пористой структуры и физико-химических свойств поверхности.

За короткие сроки в нашей стране были разработаны и внедрены в медицинскую практику углеродные синтетические сорбенты на основе полимерных смол (СКН, СУГС, ФАС, СКС, Симплекс), углерод-минеральный сорбент (СУМС-1) на минеральной основе — γ -оксиде алюминия [1, 2, 12]. Характеристики пористой структуры некоторых сорбентов представлены в табл. 3.

Разработанные сорбенты практически в полном объеме удовлетворяют требованиям медицины.

Углеродные сорбенты характеризуются высокой химической чистотой (содержание углерода 93—96% (масс.), минеральных примесей не более 2,0%); сферической формой гранул (0,5—1,0 мм), практически обеспыленных, с металлическим блеском и гладким рельефом поверхности, механически прочных; значительной удельной поверхностью (до 1500 м²/г); высокой адсорбционной способностью и совместимостью с биологическими жидкостями [13, 1, 14—18]. Благодаря высокому качеству сорбентов снизилась травмируемость клеток крови гранулами (потери тромбоцитов и лейкоцитов составляют не более 10—15%), уменьшилась «агрессивность» метода гемосорбции, повысился терапевтический эффект процедуры.

Что касается технологии получения синтетических сорбентов, то применение гранулированного полимерного сырья с определенным гранулометрическим составом, размером и формой гранул, позволило исключить стадию его подготовки и производить сорбент с полимодальным распределением пор и разным их соотношением.

В Японии разработаны синтетические сорбенты ВАС-МУ и ВАС-LG из нефтяного пека, состоящие из прочных гранул с гладким рельефом поверхности [13, 19, 20]. В США из полимерных материалов были получены гемосорбенты Ambersorb ХЕ-336 и ХЕ-344 с прочными гранулами сферической формы, практически не выделяющие пыли.

Углеродные синтетические сорбенты послужили отличной матрицей для создания специфических сорбентов и иммуносорбентов путем химического модифицирования поверхности. На основе углеродных сорбентов СКН, СУГС, КАУ создан целый ряд биоспецифических сорбентов: ГСГД — делигандизирующий для очистки белков и клеточных мембран крови, ГУДС — биоспецифический ДНК-содержащий, ВУДС — ДНК-содержащий плазмоиммуносорбент и др. Путем окисления поверхности углеродных сорбентов был создан целый класс окисленных углей, содержащих до 25% кислорода, обладающих специфическими катионообменными свойствами [21, 22].

Углерод-углеродные композиционные материалы как новое поколение гемосорбентов

Исследования механизма и кинетики процессов термического разложения углеводородов на поверхности частиц дисперсного углерода с образованием пироуглерода, проведенные в ИППУ СО РАН, привели к созданию концепции матричного синтеза пористых углерод-углеродных материалов. В рамках этой концепции были разработаны технологические подходы к целенаправленному синтезу нового класса пористых углеродных материалов и на их основе углеродных медицинских сорбентов: гемосорбента ВНИИТУ-1, энтеросорбента ВНИИТУ-2, энтеросорбента Зоокарб.

Новое направление синтеза углеродных гемо- и энтеросорбентов имело целью создание свободного от всех перечисленных выше недостатков, имеющего хорошую кровесовместимость синтетического углерод-углеродного материала. Синтез основан на двухстадийном переходе углерода в нанодисперсные углеродные частицы и пироуглерод. Исходным сырьем могут служить природный газ и газы переработки нефти, а также нефтяные и каменноугольные смолы.

На первой стадии синтеза, проводимой в газовой фазе при температуре 1250—1500 °С, образуются на-

Таблица 3

Пористая структура поверхности некоторых углеродных сорбентов

Углеродный сорбент	$S_{уд}$ (по адсорбции азота) м ² /г	Содержание золы, % (масс.)	Объем пор, см ³ /г			
			общий	микро	мезо	макро
ВНИИТУ-1	350	0,12	0,341	0,012	0,33	0,022
ВНИИТУ-2	363	0,03	0,56	0,01	0,55	—
СКН-1К	1050	0,14	1,59	0,51	0,46	0,62
СКН-4М	1100	0,03	1,36	0,46	0,35	0,55

нодисперсные псевдосферические углеродные частицы размером 40–60 нм [23], при этом выделяются минеральные примеси и удаляются зольные компоненты при использовании специальных устройств и обессоленной закалочной воды. Эти наночастицы, объединяемые в агрегаты углерод-углеродными связями при гранулировании с применением связующего вещества, образуют углеродный каркас сферической формы размером 0,5–1,2 мм с плотностью 0,2–0,4 г/см³.

На второй стадии в результате реакции разложения пропана, бутана и других газообразных углеводородов на поверхности углеродных наночастиц при температуре 750–900 °С получается гранулированный углерод-углеродный композит, состоящий из нанодисперсных углеродных частиц и пироуглерода с насыпной плотностью 0,9–1,02 г/см³. Этот композит на стадии активации водяным паром при 700–950 °С превращается в мезопористое углеродное вещество в виде трехмерной матрицы. Такая матрица формируется из изогнутых слоев пироуглерода, повторяющих рельеф поверхности сферических наночастиц углеродного каркаса. Параметры слоев: толщина 30–400 Å, радиус кривизны 100–1600 Å, межплоскостное расстояние слоев 3,48–3,60 Å, плотность (по гелию) 1,80–2,08 г/см³ [24].

Технологический процесс получения медицинского сорбента из матрицы — углеродного пористого материала с определенным характером пористости поверхности — включает операции, направленные на придание ему совместимости с кровью, стерильности, апиrogenности.

Основной операцией является пневмогидромеханическая обработка пористого углеродного материала в режиме псевдооживленного слоя. Эта операция позволяет удалить с поверхности и пор сорбента пылевидные углеродные частицы, довести рН сорбента до физиологических норм, повысить общую прочность гранул за счет разрушения «слабых» гранул и удалить возможные неровности поверхности («шлифовка» поверхности) [25]. Последующие технологические операции: сушка сорбента, стерилизация воздухом при

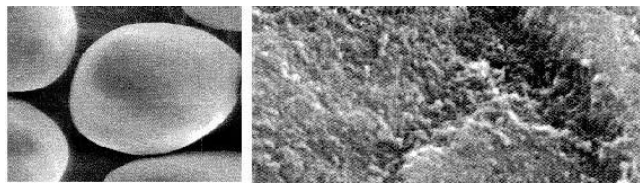


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок гранул (× 60, слева) и углеродной поверхности (× 10⁶, справа) углеродного гемосорбента ВНИИТУ-1

200 °С, упаковка в медицинскую посуду под слоем физиологического раствора, паровая стерилизация. Готовый продукт в полной мере соответствует медицинским требованиям (высокая механическая прочность гранул, отсутствие пыли, повышенная кровесовместимость и инертность по отношению к форменным элементам крови, нетоксичность).

Рис. 1 демонстрирует гладкий рельеф поверхности гранул округлой формы гемосорбента ВНИИТУ-1 размером 0,5–1,0 мм и структуру его поверхности. (Свое название композиционный углерод-углеродный гемосорбент ВНИИТУ-1 получил от названия предприятия-разработчика и изготовителя: Всесоюзный Научно-Исследовательский Институт Технического Углерода, в настоящее время Институт проблем переработки углеводородов СО РАН.) По этой же технологии получены энтеросорбенты медицинского и ветеринарного назначения.

Гемосорбент ВНИИТУ-1 характеризуется высокой химической чистотой (содержание углерода не менее 99,5%, золы не более 0,15%), на поверхности и в его порах практически отсутствует углеродная пыль, гранулы псевдосферической формы имеют высокую прочность. Эти качества сорбента позволили снизить травмирование клеток крови поверхностью гранул. Стеновые и клинические испытания, а затем и практика применения показали, что снижение тромбоцитов и лейкоцитов в крови после контакта с сорбентом не превышает 10–15% (табл. 4).

Таблица 4

Физико-химические свойства углеродного гемосорбента ВНИИТУ-1 и его медико-биологические характеристики в физиологическом растворе

Наименование показателя	Значение
Массовая доля золы, %	не более 0,15
Массовая доля общей серы, %	не более 0,30
Удельная поверхность	
по адсорбции азота, м ² /г	300–400
по адсорбции ЦТАБ, м ² /г	65–125
Иодное число, мг/г	175–245
Количество гранул	
диаметром 0,5–1,0 мм, %	не менее 90
диаметром менее 0,5 мм, %	не более 10
Прочность гранул при истирании, %/мин	не более 0,30
Концентрация раствора NaCl в равновесии с гемосорбентом, моль/дм ³	0,14–0,15
рН раствора NaCl, равновесного с гемосорбентом	6,0–7,8
Показатели воздействия на форменные элементы крови при подаче крови 80–120 мм/мин на 350 см ³ сорбента	
снижение числа лейкоцитов, %	не более 10
снижение числа тромбоцитов, %	не более 15
прирост свободного гемоглобина, %	не более 6

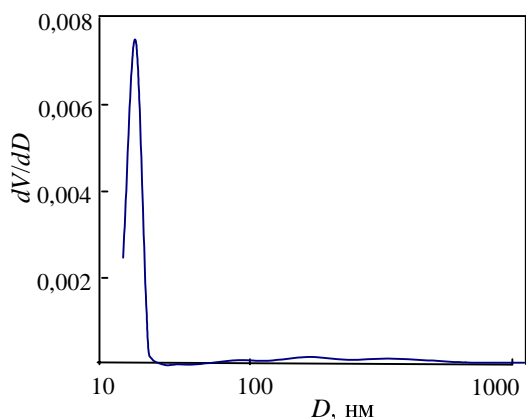


Рис. 2. Дифференциальная кривая распределения пор по размерам гемосорбента ВНИИТУ-1

Мезопористая структура (рис. 2) поверхности с преобладающим размером пор 50–60 нм повысила его адсорбционную активность к токсинам средней молекулярной массы. При удельной поверхности пор 300–400 м²/г гемосорбент извлекает до 95% веществ средней молекулярной массы 500–5000 Д (табл. 5). За счет небольшого количества микро- и макропор гемосорбент ВНИИТУ-1 способен сорбировать вещества низкой и высокой молекулярной массы.

Гемосорбент ВНИИТУ-1 нашел широкое применение при лечении широкого спектра заболеваний, вызванных с накоплением токсинов в организме.

Энтеросорбенты

Разработка и получение качественных гемосорбентов способствовали развитию других лечебно-сорбционных технологий: энтеро-, лимфо- и вульнеросорбции.

Энтеросорбция основана на связывании поверхностью сорбента эндогенных и экзогенных веществ и выведении их из желудочно-кишечного тракта [10].

Современные энтеросорбенты должны соответствовать следующим требованиям: быть нетоксичными для организма; не разлагаться и не всасываться при прохождении через желудочно-кишечный тракт, достаточно быстро и полностью удаляться из организма; не травмировать слизистые оболочки рта, пищевода, желудка и других органов; обладать высокой адсорб-

ционной емкостью по отношению к удаляемым токсинам; иметь удобную лекарственную форму, не вызывать отрицательных органолептических реакций.

Для производства энтеросорбентов применяют углеродсодержащее сырье разной природы: природное, синтетическое и др.

Энтеросорбенты выпускаются в виде паст, гранул, порошка, таблеток, волокна. Они характеризуются высокой адсорбционной поверхностью (до 1250 м²/г и выше), объем сорбционного пространства составляет 0,4–1,2 см³/г, размер гранул 0,1–1,0 мм.

Технология матричного синтеза на основе глобулярного углерода позволила создать энтеросорбент нового поколения — углеродный сорбент ВНИИТУ-2 — лекарственное средство высокого качества, отвечающее в полном объеме требованиям медицины (табл. 6).

Это химически чистый сорбент (содержание углерода не менее 99,5%, минеральных примесей не более 0,5%). Гранулы прочные, округлой формы, размером 0,5–1,0 мм, не разрушаются при прохождении через органы пищеварения и не травмируют их слизистую оболочку. Сорбент не обладает ни запахом, ни вкусом. Мезопористый характер поверхности сорбента позволяет удалять из организма человека токсичные вещества средней молекулярной массы [26, 27].

Отметим, что роль энтеросорбентов в медицине значительно возросла после Чернобыльской трагедии. Созданы модифицированные сорбенты, способные выводить из организма радионуклиды.

Энтеросорбенты для животных

Значительная часть попадающих в организм человека чужеродных соединений проникают с продуктами питания, особенно с продуктами животноводства [29].

В рамках проблемы защиты внутренней среды человека остро стоит вопрос о повышении качества и обеспечения безопасности продуктов животноводства. Для этих целей широкое распространение получили энтеросорбенты, позволяющие провести детоксикацию организма животного и вывести вредные вещества, способные вместе с продукцией животноводства перейти в организм человека.

Требования, предъявляемые к качеству энтеросорбентов для животных, не уступают требованиям к энтеросорбентам для организма человека.

Таблица 5

Физико-химические и медико-биологические характеристики гемосорбентов

Показатель	Гемосорбенты					
	СУМС-1	ВНИИТУ-1	ФАС	СКН-1К	СКН-4М	ADSORBA 300С
Размер гранул, мм	0,5–1,0	0,5–1,0	0,5–5,0	0,5–1,0	0,6–1,0	0,5–1,0
Массовая доля золы, не более, %	—	0,15	0,10	2,0	2,0	1,5–3,0
рН физиологического раствора в равновесии с сорбентом	6–8	6,0–7,8	6,0–7,5	6,5–7,0	6–8	6,5–7,0
Адсорбционная поверхность, м ² /г	200–300	300–400	1000–1100	1000–1200	1100	320
Регрессия общего белка и форменных элементов крови после перфузии, не более, мг/л	15–20	10–15	5–20	15–20	—	20
Коэффициент извлечения токсинов средней молекулярной массы, %	33	77–95	60–70	55–70	50–60	—

Таблица 6

Физико-химические и медико-биологические свойства углеродного энтеросорбента ВНИИТУ-2

Наименование показателя	Требования к качеству по ФСП 42-0465-3814-03
Физические свойства	Блестящие сферические гранулы черного цвета, размером 0,5—1,0 мм, без запаха и вкуса
Растворимость	Практически нерастворим в воде, спирте, диэтиловом эфире
pH	6,0—8,0
Вещества, растворимые в воде, %	не более 0,5
Содержание хлоридов, %	не более 0,01
Содержание сульфатов, %	не более 0,02
Содержание общего железа, %	не более 0,12
Содержание металлического железа, %	не более 0,01
Вещества, растворимые в разбавленной соляной кислоте, %	не более 0,5
Содержание влаги, %	не более 10
Зольность, %	не более 0,5
Адсорбционная емкость, г/г	не менее 0,03
Размер гранул более 1,0 мм и менее 0,5 мм, %	не более 5
Микробиологическая чистота	В 1 г препарата допускается не более 10^3 аэробных бактерий и не более 10^2 дрожжевых и плесневых грибов. Не допускается наличие <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> и <i>Staphylococcus aureus</i> в 1 г препарата

Таблица 7

Физико-химические и медико-биологические свойства углеродного энтеросорбента Зоокарб

Наименование показателя	Норма по ТУ 9318-003-71069834-2006
Физические свойства	Блестящие сферические гранулы диаметром от 0,1 до 1,0 мм черного или серебристого цвета, без запаха
Массовая доля углерода, %	не менее 99,5
Потеря массы при высушивании, %	не более 10
Остаток после прокаливании, %	не более 0,5
Адсорбционная активность, мкг/мг	не менее 30
Гранулометрический состав	Остаток на сите с диаметром отверстий 1,0 мм и прошедший через сито с диаметром отверстий 0,1 мм не должен превышать 0,5%
Микробиологическая чистота	В 1 г препарата допускается не более 10^3 аэробных бактерий и не более 10^2 дрожжевых и плесневых грибов. Не допускается наличие <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> и <i>Staphylococcus aureus</i> в 1 г препарата

По технологии матричного синтеза создан энтеросорбент Зоокарб, по качеству не уступающий энтеросорбенту ВНИИТУ-2. Показано, что Зоокарб эффективен для проведения детоксикации организма животных и птицы, его можно применять как на стадии производственных испытаний, так и на практике в животноводческих хозяйствах (табл. 7).

Заключение

Сорбционная медицина, использующая углеродные сорбенты в лечебных и профилактических целях — одно из эффективных направлений эфферентной терапии.

Разработка композиционных углерод-углеродных материалов на основе матричного синтеза позволила создать углеродные сорбенты нового поколения, в полном объеме удовлетворяющие требованиям медицины и ветеринарии. Создание и применение угле-

родного гемосорбента ВНИИТУ-1, углеродного энтеросорбента ВНИИТУ-2, энтеросорбента Зоокарб, обеспечивающие удаление из живого организма высокотоксичных веществ средней молекулярной массы, внесли определенный вклад в сохранение здоровья человека.

В настоящее время в ИППУ СО РАН проводятся исследования, направленные на повышение адсорбционной активности сорбентов по отношению к веществам различной природы и строения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В.Г., Стрелко В.В. Гемосорбция на активированных углях. Киев: Наукова думка, 1979, 288 с.
2. Николаев В.Г. Методы гемокорпорации в эксперименте и клинике. Киев: Наукова думка, 1984, 327 с.
3. Yatçidis H. Lancet, 1965, v. 2, p. 216.
4. Yatçidis H. Nephron, 1964, v. 1, p. 310.

5. *Yatçidis H.* Proc. Europ. Dial. Trans. Ass., 1964, v. 1, p. 83.
6. *Лопухин Ю.М., Молоденков М.Н.* Гемосорбция. 2 изд. М.: Медицина, 1985, 288 с.
7. *Лузников Е.А., Гольдфарб Ю.С., Марунов А.М.* Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2004, т. 48, № 2, с. 117–124.
8. *Беляков Н.А.* Энтеросорбция. Л.: Центр сорбционных технологий, 1991, 301 с.
9. *Филипенко П.С., Моисеенкова Н.Н.* Клиническая медицина, 2004, № 12, с. 9–15.
10. *Кручинский Н.Г., Остапенко В.А., Остапенко С.М. и др.* Комбинация методов эфферентной терапии в комплексном лечении детей, подвергшихся радиоактивному заражению в результате катастрофы на ЧАЭС (Методические рекомендации). Минск: Мин. здрав. рес. Беларусь, 2001.
11. *Лопухин Ю.М.* Эфферентная терапия, 1995, т. 1, № 1, с. 5–7.
12. *Рачковская Л.Н.* Углеродминеральные сорбенты для медицины. Новосибирск: СО РАСХН, 1996, 231 с.
13. *Chand Bansal R., Goyal M.* Activated Carbon Adsorption. New York: Taylor&Francis Group, 2005, 498 p.
14. Sorbents and their clinical applications. Ed. C. Giordano. New York-London: Academic Press, 1980, 400 p.
15. *Cheng T.M.S.* Artificial Cell. Thomas, Springfield, IL, 1972. 16–17. *Nikolaev V.G., Strazhesko D.N., Strelko V.V.* Adsorbtion and Adsorbents, 1976, v. 4, p. 24.
18. *Burushkina T.N.* Ibid., 1981, № 9, p. 77.
19. *Strelko V.V., Galinskaya V.I., Davydov V.I.* Ibid., 1976, № 4, p. 29.
20. *Chen S., Liu J., Zehg H.* New Carbon Materials, 2002, v. 17, p. 26.
21. *Покровский С. Н.* Эфферентная терапия, 2003, т. 9, № 1, с. 42–46.
22. *Тарковская И.А.* Сто «профессий» угля. Киев: Наукова Думка, 1990, 200 с.
23. *Franklach M. J.* Phys. Chem. Chem. Phys., 2002, v. 4, p. 2027–2037.
24. Patent Roma № 1233767, 1992.
25. Патент РФ № 2211727, опубли. 10.09. 2003.
26. *Суровикин В.Ф., Пьянова Л.Г., Лузянина Л.С.* Межд. науч. конф. «Химия XXI век: новые технологии, новые продукты». Кемерово, 10–12 мая 2005 г.
27. *Суровикин В.Ф., Пьянова Л.Г., Лузянина Л.С. и др.* Кто есть кто в Омской медицине, 2005, № 8, с. 31.
28. *Фомичев Ю.П.* Аграрная Россия, 2004, № 5, с. 3–7.