

УДК 677.027

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_60

**МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ**

**MICROENCAPSULATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
USING BIOCOMPATIBLE POLYELECTROLYTES**

О.И. ОДИНЦОВА, Е.В. РУМЯНЦЕВ, А.С. СМЕРНОВА, Л.С. ПЕТРОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА

O.I. ODINTSOVA, E.V. RUMYANTSEV, A.S. SMIRNOVA, L.S. PETROVA, V.E. RUMYANTSEVA

**(Ивановский государственный химико-технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)**

Email: odolga@yandex.ru

Представленная работа посвящена микрокапсулированию биологически активных веществ и иммобилизации их на текстильных материалах с целью получения тканей и изделий из них медицинского назначения. Оценены сорбционные свойства ряда целлюлозных текстильных материалов. Проведен выбор текстильного материала, наиболее подходящего к использованию в медицинских целях. Изучен процесс микрокапсулирования биологически активных веществ натурального происхождения. Проведен сравнительный анализ размера капсул, синтезированных по методу наноэмульсий с использованием различных по химическому строению полиэлектролитов.

The presented work is devoted to the development of textile materials and medical products based on biologically active nanocapsulated substances used as wound dressings and medical napkins. The sorption properties of the obtained cellulose textile materials are estimated. The selection of the textile material most suitable for use in medical purposes has been carried out. The process of microencapsulation of biologically active substances of natural origin has been studied. A comparative analysis of the size of capsules synthesized by the method of nanoemulsions using polyelectrolytes of various chemical structures has been carried out.

Ключевые слова: текстильные материалы медицинского назначения, микрокапсулирование, иммобилизация, биологически активные вещества натурального происхождения, полиэлектролиты, сорбционные свойства.

Keywords: textile materials of medical purposes, microcapsulation, immobilization, biologically active substances of natural origin, polyelectrolytes, sorption properties.

Раневые покрытия и повязки так же, как и косметические маски на текстильной основе, используются человеком с давних пор [1]. Если раньше текстильные материалы применяли в медицинской практике в основном как перевязочные, закрывающие раны, то есть в виде ваты, марли, бинтов, марлевых салфеток и тампонов, то сегодня все больший интерес представляет их применение с лечебной целью как носителей лекарственных препаратов (ЛП) и биологически активных веществ (БАВ) с пролонгированным лечебным действием. В настоящее время повязки стали сложными, многокомпонентными изделиями, где каждая часть может содержать биологически активные или лекарственные препараты [2].

БАВ, широко используемые в медицине, добываются как из растений, так и синтезируются в промышленных условиях, но полностью воспроизводят структуру своих биологических аналогов. Лекарственные растения являются продуцентами многих биологически активных веществ [3], [4].

Биологически активные вещества в силу своих физических и химических свойств имеют определенную специфическую активность, изменяют каталитическую (витамины, ферменты, коферменты), энергетическую (липиды, углеводы), пластическую (липиды, углеводы, белки), регуляторную (пептиды, гормоны, гормоноподобные вещества) или иную функцию в организме человека, животных или растений. Сохранить уникальные свойства БАВ при введении в текстильный материал можно посредством их капсулирования – заключения в оболочку. В качестве строительного материала оболочки перспективно использование полиэлектролитов [5...7].

Основой аппликационного изделия медицинского или косметического назначения является текстильный материал, который служит носителем микрокапсулированного препарата. К текстильным материалам, применяемым для создания раневых повязок, косметических салфеток и масок, предъявляются определенные санитарно-гигиенические требования [8], [9]. К ним относят повышенные сорбционную способность, гигроскопичность, воздухо- и паропроницаемость, влагоотдачу, водопоглощение. Сорбционные свойства являются одними из важнейших для современных аппликационных изделий. Их характеризуют следующие показатели: капиллярность, гигроскопичность, водопоглощение. В работе были оценены свойства хлопчатобумажных и льняных тканей различного переплетения: полотняного – миткаль, льняные серая и отбеленная, бязь и сатинового – сатин. Характеристики тканей определяли по стандартным методикам [10...12].

Гигроскопичность текстильного материала – это способность ткани поглощать водяные пары из окружающей атмосферы и удерживать их при определенных условиях. Свойством гигроскопичности в первую очередь должны обладать ткани медицинского назначения, которым необходимо легко впитывать влагу или раневой экссудат и испарять их в окружающую среду, тем самым поддерживая рану в гигиеническом состоянии. Наибольшей гигроскопичностью из приведенных текстильных материалов обладают отбеленная бязь, арт.262 и льняная ткань, арт.035 (табл. 1 – характеристика свойств целлюлозных текстильных материалов).

Т а б л и ц а 1

Наименование текстильного материала	Гигроскопичность (при относительной влажности 98%)	Капиллярность, мм	Воздухопроницаемость $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$
Бязь, арт. 262	15,5	165	65
Миткаль, арт. 20.	13	152	66
Сатин, арт. 547	13,5	131	53
Серая льняная ткань 8С-137	9	142	46
Отбеленная льняная ткань, арт. 035	15,6	156	64

Капиллярность характеризует поглощение влаги продольными капиллярами текстильного материала и оценивается высотой (мм) подъема жидкости в пробе материала в течение одного часа, погруженного одним концом в воду. По капиллярности судят о намокаемости тканей, то есть способности тканей впитывать капельную жидкую влагу, что также имеет важное значение при создании аппликационных лечебных материалов. Как видно из приведенных данных в табл. 1, наилучшей капиллярностью и воздухопроницаемостью обладают чистольняная отбеленная ткань, арт. 035 и хлопчатобумажная бязь, арт.262, которые были рекомендованы к использованию.

Микрокапсулированные БАВ можно наносить на волокнистый материал в виде дисперсии со связующим, используя методы набивки, распыления, пропитки и вытяжки или трафаретной печати. Наиболее прост способ пропитки текстильных материалов готовыми микрокапсулированными препаратами на основе БАВ. При этом эффективно сочетание двух технологических приемов: использование микрокапсулированного БАВ и иммобилизация их на ткани посредством метода Layer-by-Layer.

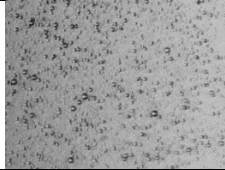
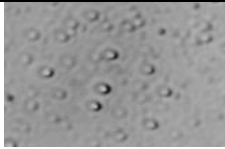
Капсулированный препарат не должен вызывать аллергических реакций, то есть

быть биосовместимым, так как контактирует с кожей человека. Поэтому для формирования оболочки капсулы были опробованы биосовместимые полимеры: катионный хитозан и анионные: пектин, акации камедь, гуаровая и ксантановая камеди.

В процессе эмульгирования масляного БАВ в растворе ПАВ получали прямую наноэмульсию при перемешивании электрической мешалкой, после чего последовательно вводили катионный и анионный полиэлектролиты. В качестве поверхностно-активных веществ применяли ранее подобранную систему из анионоактивного карбокси ПАВ и неионогенного неонола АФ 9/10. Формирование оболочки проводили на коллоидных частицах наноэмульсии масляного субстрата грейпфрута, мяты, розмарина.

Размер частиц нанокапсул определяли методом динамического рассеяния света на приборе Photocor Compact-Z. Исследуемый состав наносили на предметное стекло, наблюдали траектории движения капсул и делали фотографии, используя микроскоп Микмед-6 со съемной фотокамерой. Примеры фотографий капсулированных препаратов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Состав капсулы	Фотографии исследуемой системы	
1	Масло розмарина Карбокси ПАВ Неонол Хитозан Гуаровая камедь		
2	Масло розмарина с красителем судан Карбокси ПАВ Неонол Хитозан Пектин		

Все полученные дисперсии достаточно агрегативно устойчивы. Дзета-потенциал исследованных дисперсий варьируется от -10 до -28. Данные, характеризующие влияние полиэлектролитов, входящих в состав оболочки капсулы, на размеры частиц в дисперсии, представлены в табл. 3 (влияние природы полиэлектролитов на размер син-

тезированных капсул, содержащих масло розмарина).

Минимальным размером характеризуются капсулы, в состав оболочек которых входят натуральные полиэлектролиты: хитозан и гуаровая камедь. Размер варьируется от 49,3 до 77,8 нм (табл.3; табл.2, образец 1). Большим размером частиц характе-

ризуются капсулы на основе хитозана и пектина -230-234 нм (табл.3; табл.2, образец 2), что, по-видимому, связано с большим, по сравнению с другими анионными полиэлектролитами, молекулярным весом пектина и меньшей плотностью заряда на

цепи макромолекулы. Более равномерное нанесение микрокапсул на текстильный материал, осуществляется при использовании дисперсии с минимальным размером частиц, содержащий капсулы с оболочкой, включающей хитозан и гуаровую камедь.

Т а б л и ц а 3

Использованные полиэлектролиты		Размер частиц	Содержание частиц в составе	Дзета-потенциал системы
Наименование	Кол-во, г/л	нм	%	мВ
Хитозан	1	66	64,9	-24,0
Ксантовая камедь	1	221,2	100	
Хитозан	1	49,3	100	-18,5
Гуаровая камедь	1	77,8	100	
Хитозан	1	57,3	100	
Хитозан	1	234,2	100	-28,0
Пектин	1	230	89	
Хитозан	1	57,5	100	-10
Акации камедь	1	71,7	99	

Для разработки оптимального технологического режима иммобилизации капсулированных БАВ на целлюлозных материалах проведен модельный эксперимент. Масляный субстрат окрашивали жирорастворимым красителем суданом красным IV, который был выбран в качестве модели для контроля выделения БАВ в процессе обработки. Хлопчатобумажную ткань, в качестве которой использовали ранее выбранную бязь, пропитывали микрокапсулированным препаратом, отжимали до привеса в 100%, сушили и закрепляли с исполь-

зованием различных композиций на основе биосовместимых полиэлектролитов: хитозана, гуаровой и ксантановой камедей.

Оценивали степень десорбции красителя из ткани в спиртовой раствор. Обработанные текстильные материалы имели малиновую окраску, что позволило косвенно определить устойчивость нанесенных композиций к мокрым обработкам – стирке №1 и поту. В процессе отделки использовали контактный и конвективный способ сушки (табл. 4 – технические результаты БАВ-отделки хлопчатобумажной бязи, арт. 262).

Т а б л и ц а 4

Состав композиции	Технология нанесения капсул	Состав, используемый для иммобилизации капсул на ткани, и условия обработки	Оптическая плотность десорбированного спиртового раствора судана IV, ед	Устойчивость окрасок к мокрым обработкам, балл	
				стирке №1	поту
1. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°С, отжим 100%, конвективная сушка, Т 80°С	Хитозан 10 г/л, отжим 100%, конвективная сушка, Т 95...100°С	0,029	4/4	4/4
2. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°С, отжим 100%, конвективная сушка, Т 80°С	Хитозан, 1% 10 г/л, Альгинат натрия, 1% 10 г/л, отжим 100%, конвективная сушка, Т 95...100°С	0,006	5/5	5/5

3. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°C, отжим 100%, конвективная сушка, Т = 95...100°C	Хитозан, 1% 10 г/л, ZnCl ₂ 5 г/л, отжим 100%, конвективная сушка, Т 95...100°C	0,008	5/5	5/5
4. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°C, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, Т = 100°C	Хитозан, 1% 10 г/л, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, Т 100°C	0,022	5/5	5/4
5. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°C, отжим 100%, конвективная сушка, Т 80°C	Хитозан, 1% 10 г/л, Альгинат натрия, 1% 10 г/л, отжим 100%, контактная сушка, 2 мин 30 с, Т 100°C	0,005	5/5	5/5
6. Масло розмарина Судан красный IV Карбокси ПАВ Хитозан Гуаровая камедь	Пропитка при Т 40°C, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, Т = 100°C	Хитозан, 1% 10 г/л, ZnCl ₂ 5 г/л, отжим 100%, контактная сушка 2 мин 30 с, Т 100°C	0,014	5/5	5/5

Максимальная устойчивость к мокрым обработкам наблюдается при использовании для иммобилизации микрокапсул, содержащих в своем ядре БАВ, системы разноименно заряженных полиэлектролитов, включающей хитозан-ксантановая камедь и хитозан-гуаровая камедь (табл. 4, образец 2,5). Послойное нанесение хитозана и альгината натрия на пропитанную ткань обеспечивает дополнительную защиту капсулированных веществ и эффективную иммобилизацию на целлюлозном текстильном материале. Устойчивость отделки БАВ рассматриваемых образцов к стирке №1 характеризуется оценкой 5/5 как к стирке №1, так и к поту 5/5.

ВЫВОДЫ

1. Обоснован выбор текстильных материалов, которые могут служить основой для создания медицинских аппликационных изделий. Показано, что лучшими сорбционными свойствами обладают отбеленные бязь и льняная ткань, подготовленные по традиционной технологии.

2. Определены размеры синтезированных капсул на основе систем биосовместимых полиэлектролитов: хитозан - гуаровая камедь, хитозан - ксантановая камедь, хитозан - пектин. Проведена сравнительная оцен-

ка влияния полиэлектролитов, составляющих оболочку капсулы, на размеры частиц микрокапсул. Установлено, что капсулы, построенные на основе полиэлектролитов: хитозан и гуаровая камедь, характеризуются минимальными размерами, составляющими около 64 нм.

3. Предложен технологический режим иммобилизации капсулированных БАВ на целлюлозных материалах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибкова В.А. Разработка технологии получения профилактических и лечебных текстильных материалов для косметологии и дерматологии: Дис... канд. техн. наук. – М., 2005.
2. Олтаржевская Н.Д., Коровина М.А. Текстиль для медицины: новые лечебные композиционные материалы // Текстильная промышленность. – 2010, № 5. С. 58...62.
3. Кузьменко В.А., Одинцова О.И., Русанова А.И. Свойства синтетических полиэлектролитов и перспективы их применения для отделки текстильных материалов // Журнал прикладной химии. – 2014. Т.87, № 9. С. 1193...1203.
4. Петрова Л.С., Козлова О.В., Одинцова О.И. Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 4. С.85...89.
5. Прохорова А.А., Петрова Л.С., Владимирцева Е.Л., Одинцова О.И. Использование метода микроэмульсионного капсулирования для придания тек-

стильным материалам акарицидных свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С. 332...335.

6. Липина А.А., Одинцова О.И., Антонова А.С., Носкова Ю.В. Оценка нанодисперсного состояния и агрегативной устойчивости экспериментальных образцов инкапсулированных акарицидно-репеллентных веществ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 4. С. 89...91.

7. Липина А.А., Есина О.А., Смирнова А.С. Оптимизация условий иммобилизации микрокапсул на текстильных материалах // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2019. – Ч.2. С.110...113.

8. Олтаржевская Н.Д. Теоретические основы и технология получения текстильных медицинских материалов с заданными свойствами: Дис. ... докт. техн. наук. – СПб., 1994.

9. Назаренко Г.И., Сугурова И.Ю., Глянцев С.П. Рана. Повязка. Большой. Современные медицинские технологии. – М.: Медицина, 2002.

10. ГОСТ 12088–77. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

11. ГОСТ 3816–81. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

12. ГОСТ 10681–75. Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

REFERENCES

1. Gribkova V.A. Razrabotka tekhnologii polucheniya profilakticheskikh i lechebnykh tekstil'nykh materialov dlya kosmetologii i dermatologii: Dis....kand. tekhn. nauk. – М., 2005.

2. Oltarzhevskaya N.D., Korovina M.A. Tekstil' dlya meditsiny: novye lechebnye kompozitsionnye materialy // Tekstil'naya promyshlennost'. – 2010, № 5. S. 58...62.

3. Kuz'menko V.A., Odintsova O.I., Rusanova A.I. Svoystva sinteticheskikh polielektrolitov i perspektivy

ikh primeneniya dlya otdelki tekstil'nykh materialov // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2014. T.87, № 9. S.1193...1203.

4. Petrova L.S., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Mikrokapsulirovanie biologicheskii aktivnykh veshchestv i ikh ispol'zovanie dlya funktsionalizatsii tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 4. С.85...89.

5. Prokhorova A.A., Petrova L.S., Vladimirtseva E.L., Odintsova O.I. Ispol'zovanie metoda mikroemul'sionnogo kapsulirovaniya dlya pridaniya tekstil'nym materialam akaritsidnykh svoystv // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 1. S. 332...335.

6. Lipina A.A., Odintsova O.I., Antonova A.S., Noskova Yu.V. Otsenka nanodispersnogo sostoyaniya i agregativnoy ustoychivosti eksperimental'nykh obraztsov inkapsulirovannykh akaritsidno-repellentnykh veshchestv // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, № 4. S. 89...91.

7. Lipina A.A., Esina O.A., Smirnova A.S. Optimizatsiya usloviy immobilizatsii mikrokapsul na tekstil'nykh materialakh // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). – 2019. – Ч.2. S.110...113.

8. Oltarzhevskaya N.D. Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya polucheniya tekstil'nykh meditsinskikh materialov s zadannymi svoystvami: Dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Spb., 1994.

9. Nazarenko G.I., Sugurova I.Yu., Glyantsev S.P. Rana. Povyazka. Bol'noy. Sovremennye meditsinskie tekhnologii. – М.: Meditsina, 2002.

10. GOST 12088–77. Materialy tekstil'nye i izdeliya iz nikh. Metod opredeleniya vozdukhopronitsaemosti. – М.: Izd-vo standartov, 2003.

11. GOST 3816–81. Polotna tekstil'nye. Metody opredeleniya gigroskopicheskikh i vodoottalkivayushchikh svoystv. – М.: Izd-vo standartov, 1997.

12. GOST 10681–75. Materialy tekstil'nye. Klimaticheskie usloviya dlya konditsionirovaniya i ispytaniya prob i metody ikh opredeleniya. – М.: Izd-vo standartov, 1997.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов. Поступила 19.02.21.