

ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ БИЗНЕСА  
TRANSDISCIPLINARY RESEARCH IN THE FIELD OF BUSINESS

УДК 663.052

DOI: 10.18413/2408-9346-2018-4-2-0-4

Кролевец А.А.<sup>1</sup>, Левченко О.В.<sup>2</sup>  
Глотова С.Г.<sup>3</sup>, Семичев К.М.<sup>4</sup>  
Дубцова Г.Н.<sup>5</sup>

СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО  
УНАБИ

- <sup>1</sup>) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85,  
г. Курск, 305009, Россия.  
*a\_krolevets@inbox.ru*
- <sup>2</sup>) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85,  
г. Курск, 305009, Россия.  
*frosch23@list.ru*
- <sup>3</sup>) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85,  
г. Курск, 305009, Россия.  
*ladiglotovasveta@yandex.ru*
- <sup>4</sup>) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85,  
г. Курск, 305009, Россия.  
*kirill.semichev@yandex.ru*
- <sup>5</sup>) Московский государственный университет пищевых производств,  
Волоколамское ш., д.8, г.Москва, 125080, Россия.  
*doubtsova@mail.ru*

**Аннотация.** В работе приведены данные по исследованию наноструктурированного унаби в различных оболочках, в качестве которых использовались каррагинан, ксантановая, конжаковая и геллановая камеди, агар-агар, натрий-карбоксиметилцеллюлоза и альгинат натрия, в соотношениях ядро : оболочка 1 : 3. Можно отметить изменение размера наночастиц в зависимости от природы оболочки. Например, наибольшие средние размеры (340 и 420 нм) образуются в ксантановой камеди и в натрий-карбоксиметилцеллюлозе, соответственно, а наименьший средний размер (152 нм) образуется в альгинате натрия. При этом наименьший размер  $D_{10}$  (37,4 нм) дает геллановая камедь. Полученные результаты могут использоваться для разработки новых препаратов медицинского назначения и в пищевой промышленности для создания продуктов функционального назначения.

**Ключевые слова:** унаби, самоорганизация, метод NTA.

UDC 663.052

**Krolevets A.A.<sup>1</sup>, Levchenko O.V.<sup>2</sup>  
Glotova S.G.<sup>3</sup>, Semichev K.M.<sup>4</sup>  
Nubtsova G.N.<sup>5</sup>**

**PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED UNABI**

- <sup>1)</sup> Regional Open Social Institute, 85 Mayakovsky St., Kursk, 305009, Russia.  
*a\_krolevets@inbox.ru*
- <sup>2)</sup> Regional Open Social Institute, 85 Mayakovsky St., Kursk, 305009, Russia.  
*frosch23@list.ru*
- <sup>3)</sup> Regional Open Social Institute, 85 Mayakovsky St., Kursk, 305009, Russia.  
*ladiglotovasveta@yandex.ru*
- <sup>4)</sup> Regional Open Social Institute, 85 Mayakovsky St., Kursk, 305009, Russia.  
*kirill.semichev@yandex.ru*
- <sup>5)</sup> Moscow State University of Food Production, 8 Volokolamskoe Rd., Moscow, 125080, Russia.  
*doubtsova@mail.ru*

**Abstract.** The paper presents some data on the study of nanostructured unabi in different shells, such as carrageenan, xanthan, konjac and gellan gum, agar-agar, sodium carboxymethyl cellulose and sodium alginate at the ratio of core and shell 1: 3. We can note the change in nanoparticle size depending on the nature of the shell. For example, the largest average dimensions (340 and 420 nm) are formed in xanthan gum and sodium carboxymethyl cellulose respectively. And the smallest average size (152 nm) is formed in sodium alginate. At the same time, the smallest dimension of D10 (37.4 nm) is produced by gellan gum. The results obtained can be used for the development of new medicinal products and in the food industry for the development of functional products.

**Keywords:** unabi, self-organization, NTA method.

**Введение.** Унаби по латыни называется «зизифус», а в народе это растение зовется «китайский финик». Зизифус принадлежит к семейству крушиновых. Встречается в диком виде на большой территории от центрального Китая до Закавказья, а культивируется унаби ещё шире: во всех местностях, где только возможно его выращивание.

Мякоть плодов зизифуса обладает лекарственными свойствами. Содержащиеся в плодах вещества укрепляют сердечную мышцу, понижают кровяное давление и очень полезны для больных гипертонией. В настоящее время плоды унаби применяют как мочегонное средство при почечнокаменной болезни и воспалении мочевого пузыря. Используют их и как тонизирующее средство. Плоды унаби включают в

диету при болезнях печени, гипертонии (как понижающее давление и мочегонное средство), заболеваниях органов дыхания (отмечено, что они оказывают смягчающий эффект при бронхитах, трахеитах, заболеваниях горла). Отвар листьев и коры унаби применяется при легочных заболеваниях, а наружно – при кожных.

Очевидным путем повышения биодоступности является уменьшение частиц ингредиента до микро- и наноразмеров. На примере многих лекарственных веществ было показано, что уменьшение размеров частиц приводит к изменению биодоступности и эффективности (Mathiowitz and other, 1997).

Супрамолекулярная химия использует законы органической синтетической химии для получения супрамолекулярных

ансамблей, координационной химии комплексов и физической химии для изучения взаимодействий компонентов, биохимии – рассмотрения функционирования супрамолекулярных ансамблей. К супрамолекулярным свойствам относятся самосборка и самоорганизация (Григорьев и др., 2010; Зоркий, Лубнина, 1999). В супрамолекулярной химии для достижения контролируемой сборки молекулярных сегментов и спонтанной организации молекул в стабильной структуре используют нековалентные взаимодействия (Rana and other, 2005; Mendes and other, 2011). Самоорганизующиеся структуры можно имитировать как аспекты биологических систем: искусственные клетки мембран, ферментов, или каналы (Hentze, Kaler, 2003).

#### **Основная часть.**

**Целью исследований** является изучение свойств наноструктурированного унаби в различных оболочках (каррагинан, ксантановая, конжаковая и геллановая камеди, агар-агар, натрий-карбоксиметилцеллюлоза и альгинат натрия) как перспективного наноингредиента для разработки новых препаратов медицинского назначения и пищевых продуктов функционального назначения.

**Материалы и методы исследования.** Материалами исследования являлись образцы нанокапсулированные образцы унаби в различных оболочках: каррагинан, ксантановая, конжаковая и геллановая камеди, агар-агар, натрий карбоксиметилцеллюлоза и альгинат натрия, в соотношениях ядро : оболочка 1 : 3.

Исследование самоорганизации микрокапсул проводили следующим образом. Порошок инкапсулированного биополимером унаби растворяли в воде. Оптимальным разведением было выбрано соотношение исследуемого порошка и воды 1 : 100. Каплю исследуемого наносили на покровное стекло и выпаривали. Высушенную поверхность сканировали методом конфокальной микроскопии на микро-

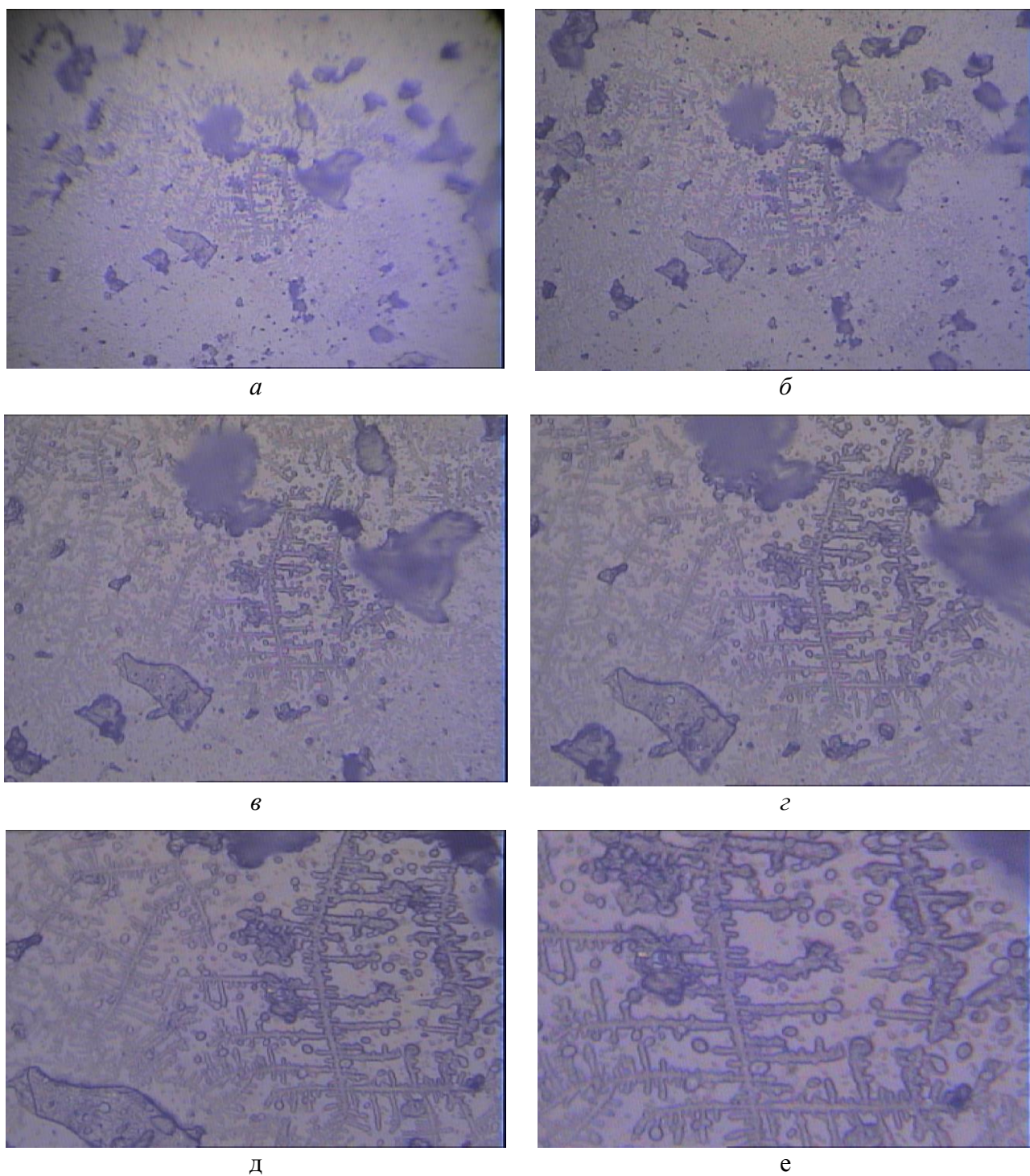
спектрометре OmegaScore, производства AIST-NT (г. Зеленоград), совмещенном с конфокальным микроскопом. На этом же приборе получены микрофотографии с самоорганизацией.

Изучение инкапсулированных унаби в сильно разбавленных водных растворах проводилось с помощью метода NTA (метод анализа траектории наночастиц). Измерения проводили на мультипараметрическом анализаторе наночастиц Nanosight LM0 производства Nanosight Ltd (Великобритания) в конфигурации HS-BF (высококонтрастная видеокамера Andor Luca, полупроводниковый лазер с длиной волны 405 нм и мощностью 45 мВт). Работа прибора основана на методе анализа траекторий наночастиц (Nanoparticle Tracking Analysis, NTA), описанном в ASTM E2834. Для измерения были выбраны параметры прибора: Camera Level = 16, Detection Threshold = 10 (multi), Min Track Length : Auto, Min Expected Size: Auto. длительность единичного измерения 215 с, использование шприцевого насоса.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Как видно из рис. 1-3, образование нанокапсул происходит спонтанно за счет нековалентных взаимодействий, и это говорит о том, что для них характерна самосборка. Представленные структуры являются упорядоченными, значит, они обладают самоорганизацией. Следовательно, инкапсулированные полимерной оболочкой унаби обладают супрамолекулярными свойствами. Более того, вид и характер самоорганизации позволяет предположить, что данный характер существенно зависит от природы инкапсулированного биологически активного соединения. Это позволяет говорить о возможности идентификации биологически активных соединений в инкапсулированном виде.

На рис. 4-10 представлены результаты измерения для нанокапсул унаби в различных оболочках.





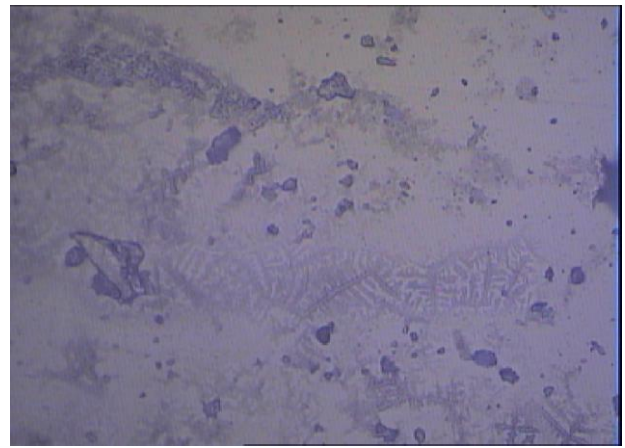
*Рис. 1. Конфокальное изображение фрактальной композиции из раствора нанокapsул унаби (0,5%) с увеличением: а) 505 раз, б) 620 раз, в) 930 раз, г) 1200 раз, д) 1770 раз, е) 2830 раз*

*Fig. 1. Confocal image of a fractal composition from the solution of nanocapsules unabi (0.5%) with an increase of: a) 505 times, b) 620 times, c) 930 times, d) 1200 times, e) 1770 times, f) 2830 times*

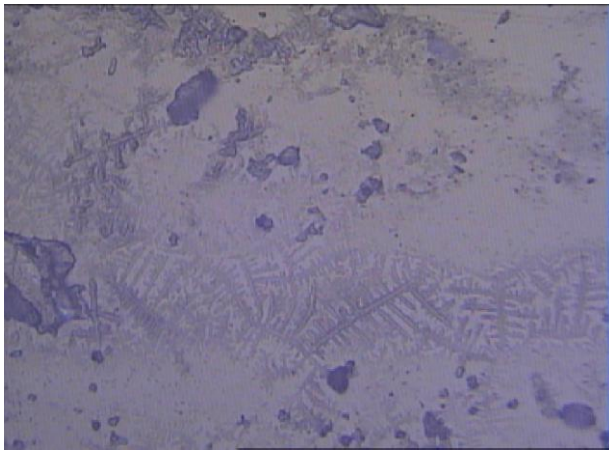




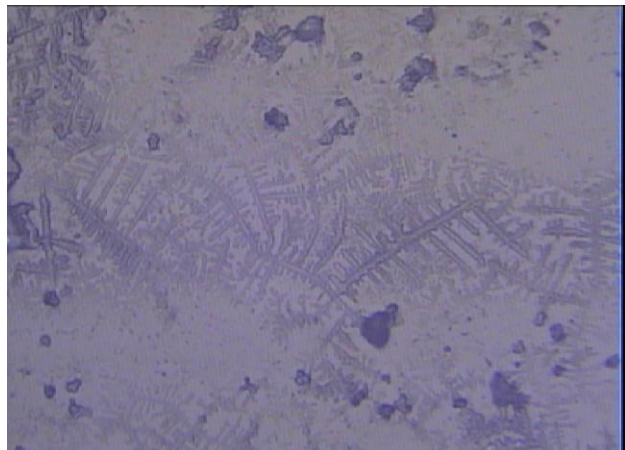
а



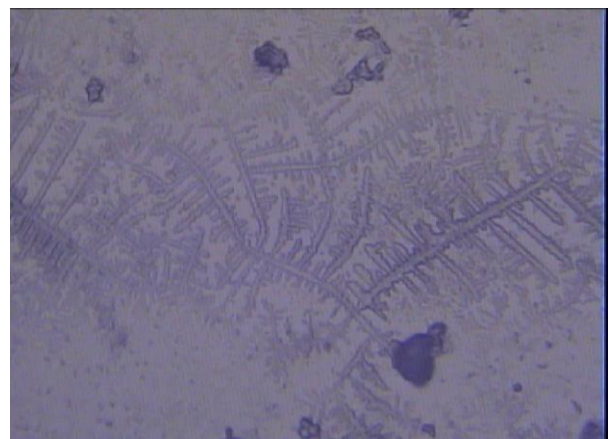
б



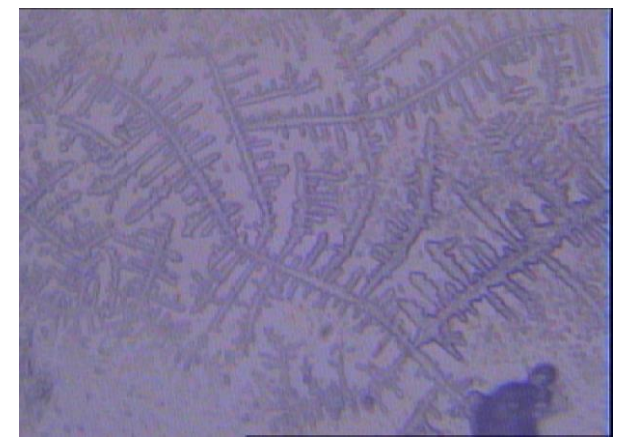
в



г

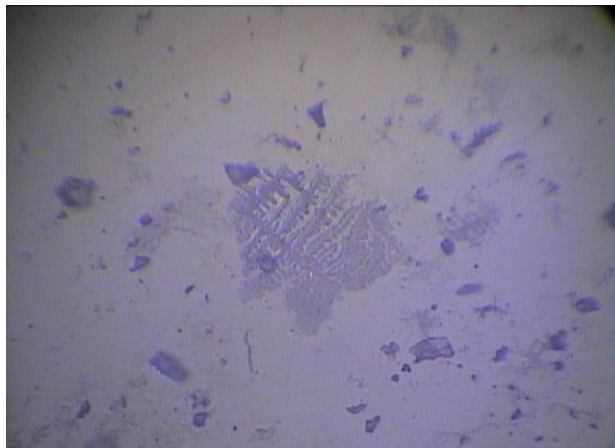


д

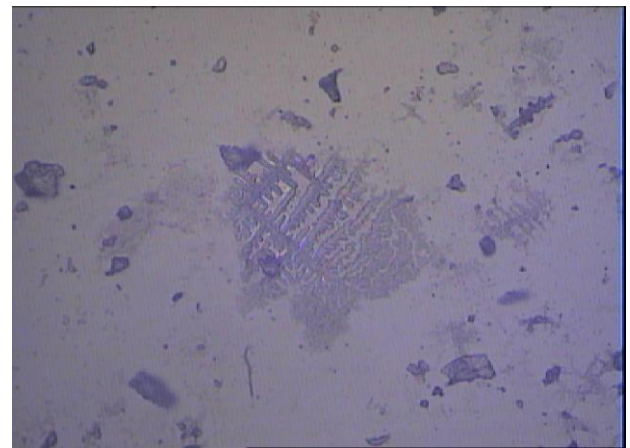


е

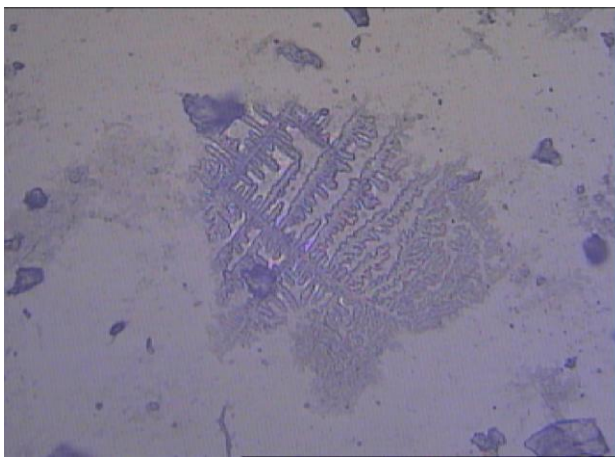
Рис. 2. Конфокальное изображение фрактальной композиции из раствора нанокapsул унаби (0,25%) с увеличением: а) 505 раз, б) 620 раз, в) 930 раз, г) 1200 раз, д) 1770 раз, е) 2830 раз  
Fig. 2. Confocal image of a fractal composition from the solution of nanocapsules unabi (0.25%) with an increase of: а) 505 times, б) 620 times, в) 930 times, г) 1200 times, д) 1770 times, е) 2830 times



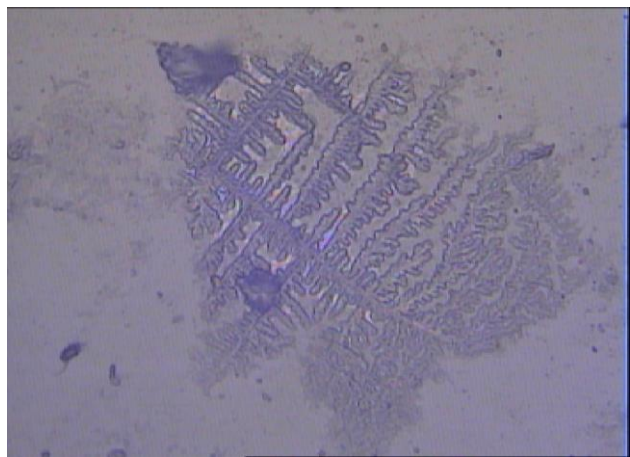
а



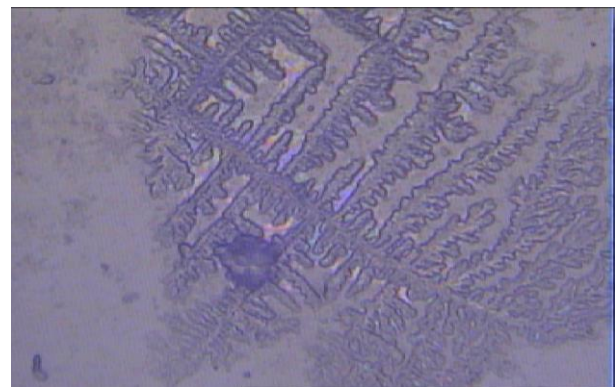
б



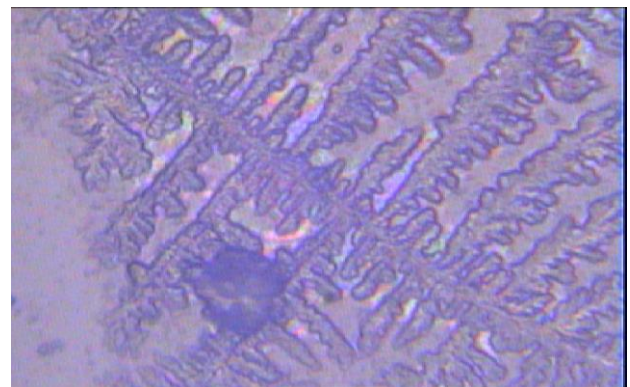
в



г



д



е

Рис. 3. Конфокальное изображение фрактальной композиции из раствора нанокapsул унаби (0,125%) с увеличением: а) 505 раз, б) 620 раз, в) 930 раз, г) 1200 раз, д) 1770 раз, е) 2830 раз  
Fig. 3. Confocal image of a fractal composition from the solution of nanocapsules unabi (0.125%) with an increase of: a) 505 times, b) 620 times, c) 930 times, d) 1200 times, e) 1770 times, f) 2830 times



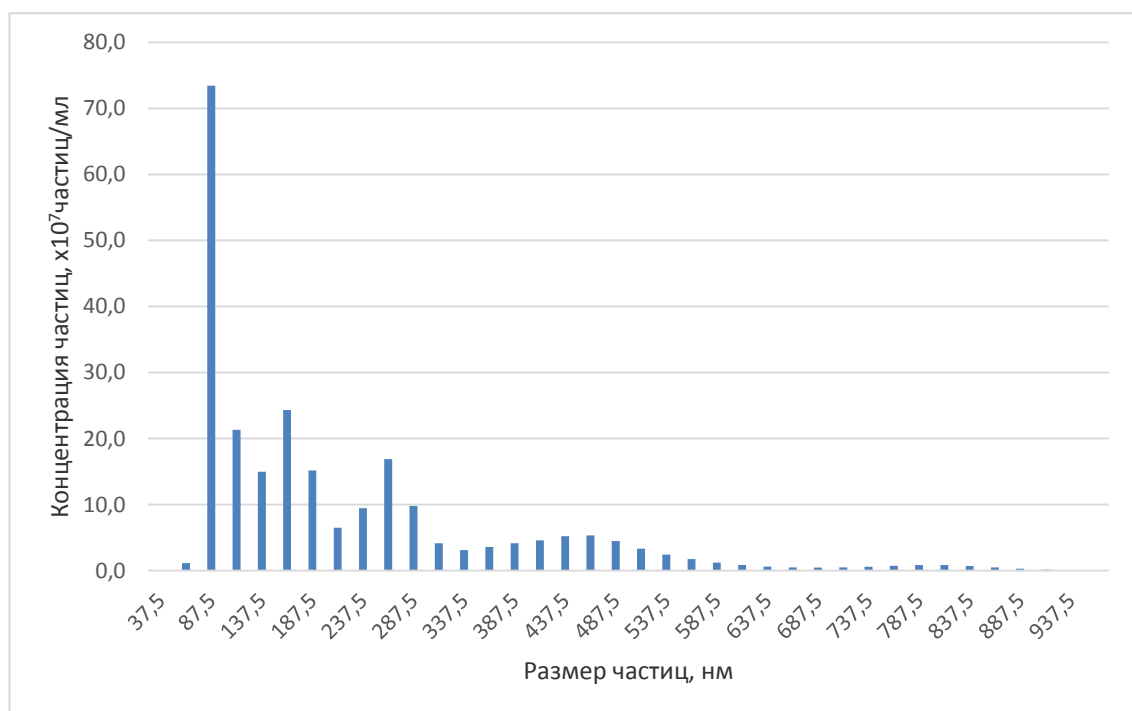


Рис. 4. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в конжаковой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 4. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in konjac gum (proportion of core and shell is 1 : 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 1.

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 2.

Таблица 1

**Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в конжаковой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)**

Table 1

**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of nanocapsules unabi in konjac gum (proportion of core : shell is 1 : 3)**

Параметр	Значение
Средний размер, нм	218,80
D10, нм	57,90
D50, нм	136,50
D90, нм	434,20
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	2,76
Общая концентрация частиц, ×10 <sup>8</sup> частиц/мл	24,40

Таблица 2

**Статистические характеристики распределения частиц по размерам  
в образце нанокapsул унаби в агар-агаре  
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)**

Table 2

**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules  
in agar-agar (proportion of core and shell is 1 : 3)**

Параметр	Значение
Средний размер, нм	275,40
D10, нм	61,20
D50, нм	195,60
D90, нм	492,70
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	2,21
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	5,36

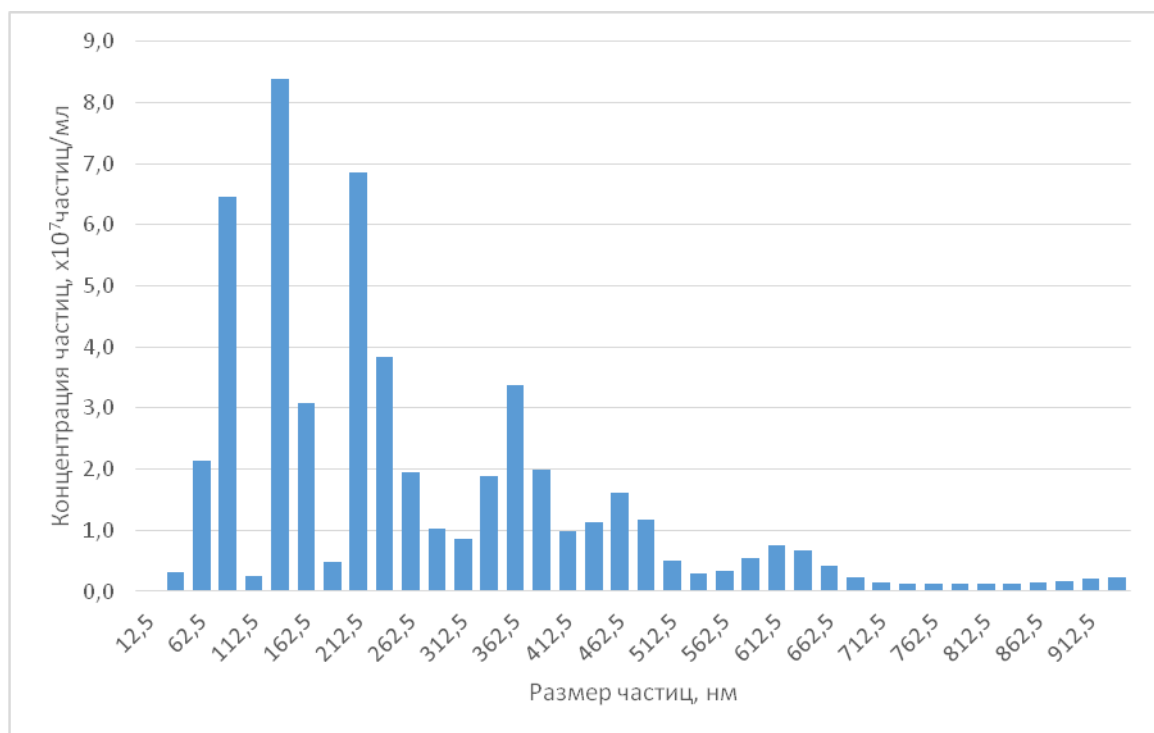


Рис. 5. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в агар-агаре  
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 5. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in agar-agar  
(proportion of core and shell is 1 : 3)



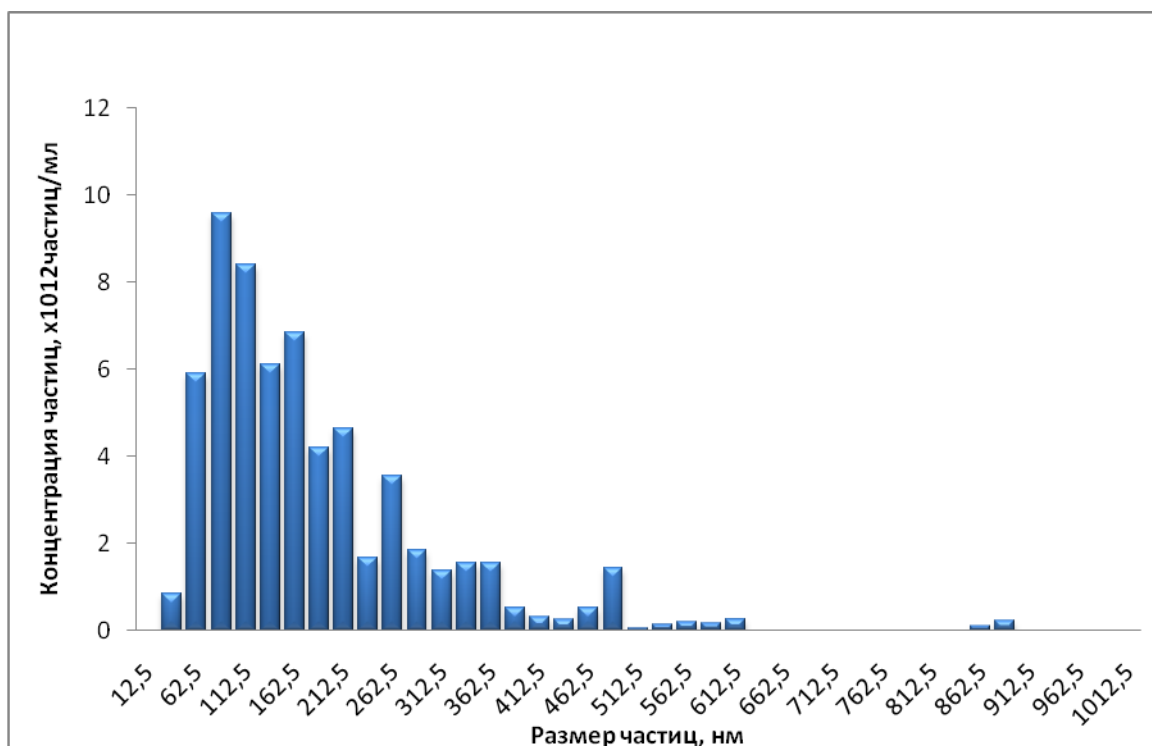


Рис. 6. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в каррагинане (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 6. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in carageenan (proportion of core and shell is 1 : 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 3.

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 4.

Таблица 3

**Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в каррагинане (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)**

Table 3

**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in carageenan (proportion of core and shell is 1 : 3)**

Параметр	Значение
Средний размер, нм	184,00
D10, нм	73,00
D50, нм	150,00
D90, нм	343,00
Коэффициент полидисперсности, (D90- D10)/D50	1,80
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	0,62

Таблица 4

**Статистические характеристики распределения частиц по размерам  
в образце нанокapsул унаби в альгинате натрия  
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)**

Table 4

**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules  
in sodium alginate (proportion of core and shell is 1 : 3)**

Параметр	Значение
Средний размер, нм	152,00
D10, нм	76,00
D50, нм	135,00
D90, нм	247,00
Коэффициент полидисперсности, (D90- D10)/D50	1,27
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	1,50

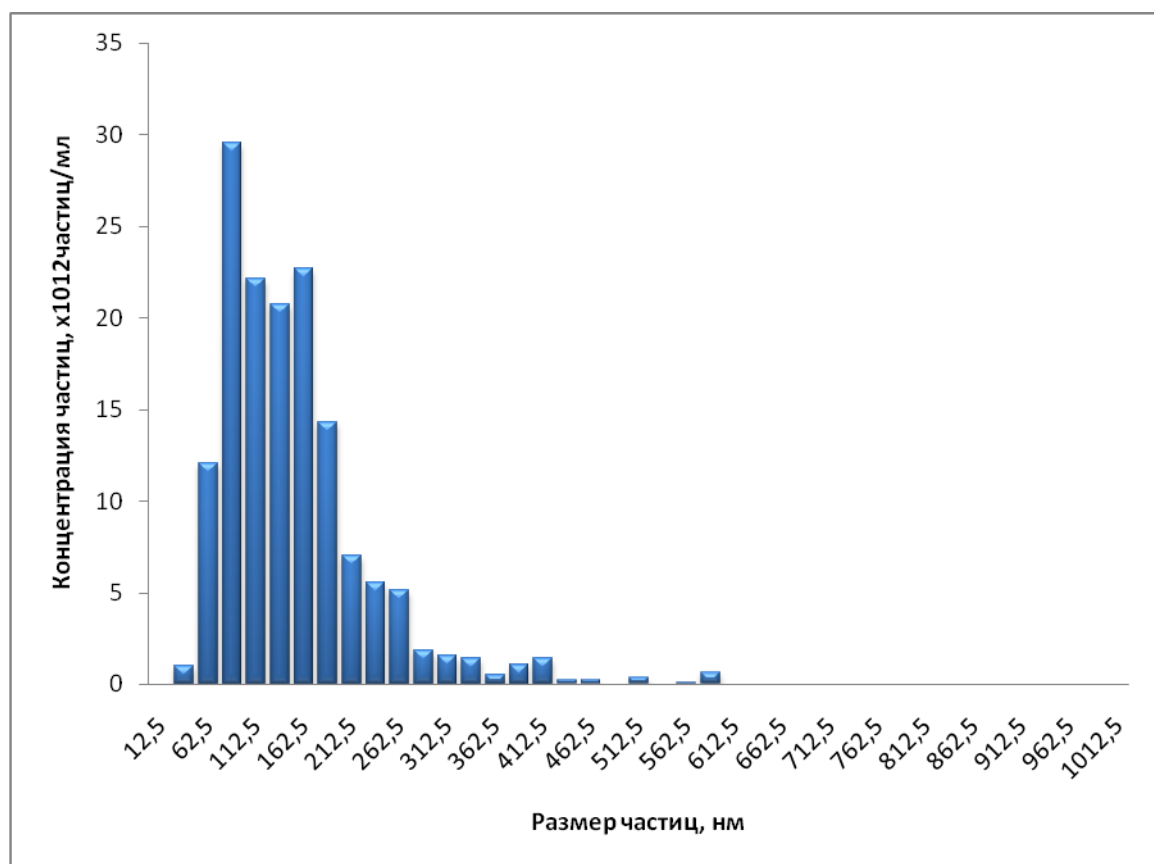


Рис. 7. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в альгинате натрия  
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 7. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in sodium alginate  
(proportion of core and shell is 1 : 3)

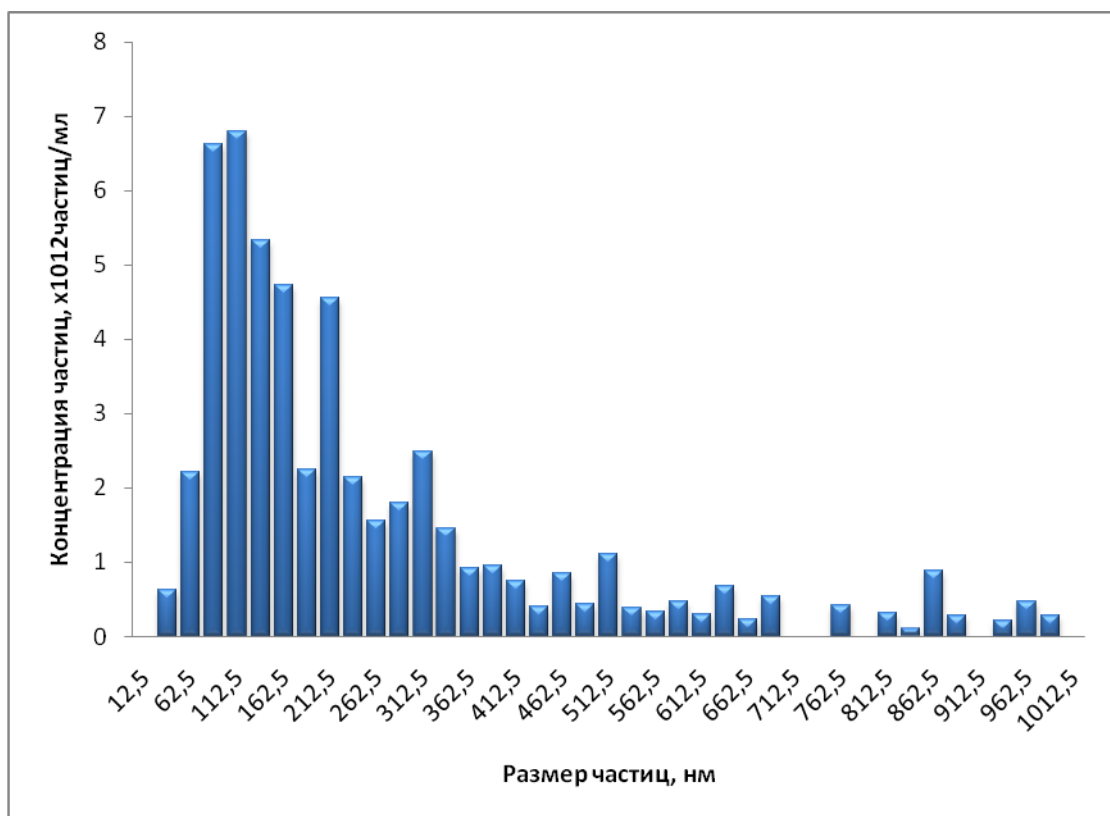


Рис. 8. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в ксантановой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 8. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in xanthan gum (proportion of core and shell is 1 : 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 5.

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 6.

Таблица 5

**Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в ксантановой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)**

Table 5

**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in xanthan gum (proportion of core and shell is 1 : 3)**

Параметр	Значение
Средний размер, нм	340,00
D10, нм	96,00
D50, нм	189,00
D90, нм	890,00
Коэффициент полидисперсности, (D90- D10)/D50	4,20
Общая концентрация частиц, ×10 <sup>12</sup> частиц/мл	0,58



Таблица 6  
**Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокапсул унаби в gellan камеди**  
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Table 6  
**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in gellan gum**  
(proportion of core and shell is 1 : 3)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	283,80
D10, нм	37,40
D50, нм	184,40
D90, нм	576,10
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	2,92
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	5,92

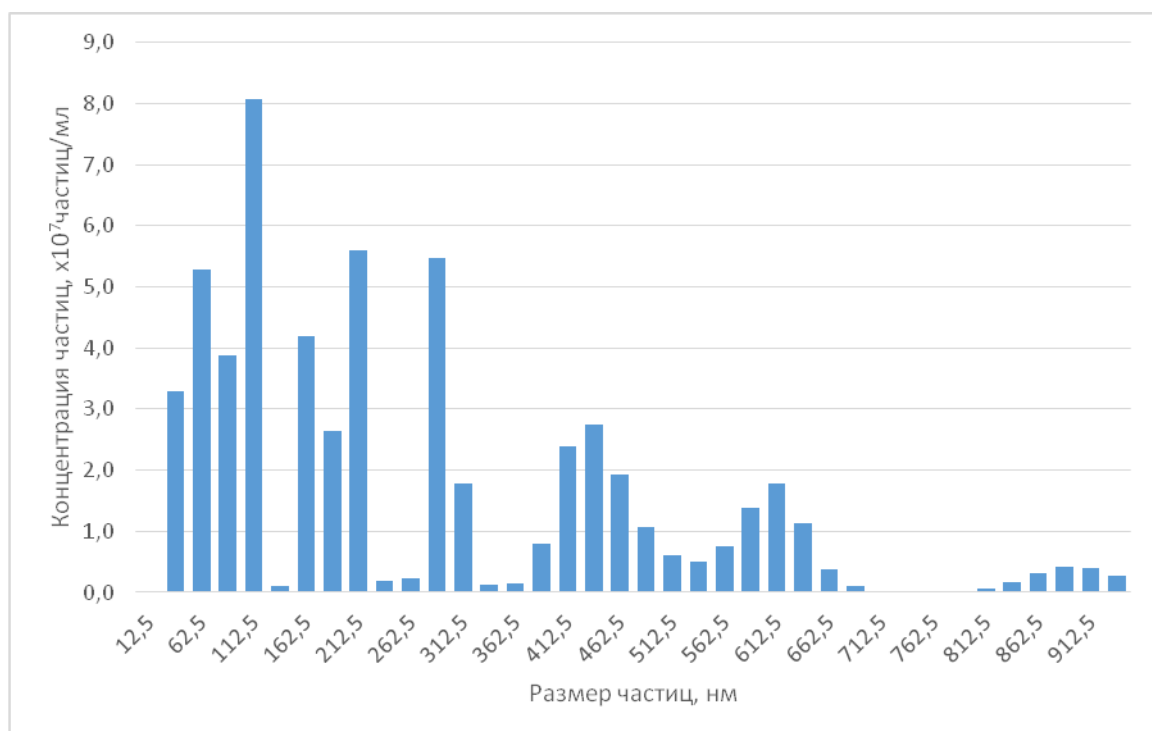


Рис. 9. Распределение частиц по размерам в образце нанокапсул унаби в геллановой камеди  
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 9. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in gellan gum  
(proportion of core and shell is 1 : 3)

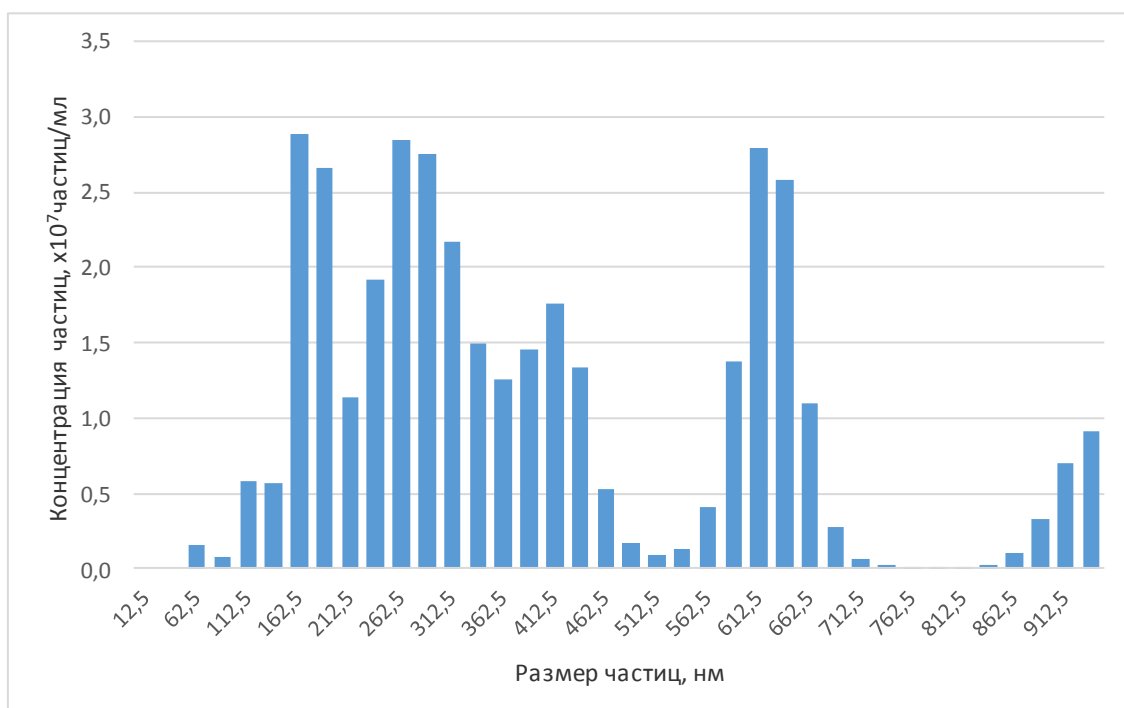


Рис. 10. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в натрий карбоксиметилцеллюлозе (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 10. Particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in sodium carboxymethyl cellulose (proportion of core and shell is 1 : 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 7.

Таблица 6

**Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул унаби в натрий карбоксиметилцеллюлозе (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)**

Table 6

**Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of unabi nanocapsules in sodium carboxymethyl cellulose (proportion of core and shell is 1 : 3)**

Параметр	Значение
Средний размер, нм	419,90
D10, нм	146,10
D50, нм	321,60
D90, нм	653,40
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	1,58
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	3,81

**Заключение.** Полученные данные доказывают наличие нанокapsул в растворах

изучаемых образцов. Из рисунков видно, что размеры капсул практически не пре-

вышают порога в 1000 нм, а их основная масса лежит в пределах 50-300 нм. Так же можно отметить изменение размера наночастиц в зависимости от природы оболочки. Например, наибольшие средние размеры (340 и 420 нм) образуются в ксантановой камеди и в натрий карбоксиметилцеллюлозе, соответственно, а наименьший средний размер (152 нм) образуется в альгинате натрия. При этом наименьший размер D<sub>10</sub> (37,4 нм) дает геллановая камедь.

Таким образом, данное исследование доказало образование микрокапсул унаби в биополимерах. При этом основной размер микрокапсул составляет 120-200 нм.

Полученные результаты могут использоваться для разработки новых препаратов медицинского назначения и в пищевой промышленности для создания продуктов функционального назначения.

**Информация о конфликте интересов:** авторы не имеют конфликта интересов для декларации.

**Conflicts of Interest:** authors have no conflict of interests to declare.

#### Список литературы

1. Григорьев, Ф. В. Методы молекулярного моделирования супрамолекулярных комплексов: иерархический подход / Ф. В. Григорьев, А. Н. Романов, Д. Н. Лайков и др. // *Российские нанотехнологии*, 2010, №5-6. С. 47-53.
2. Зоркий, П. М., Лубнина, И. Е. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы // *Вестн. Моск. ун-та*, 1999, №5. С. 300-307.
3. Hentze, H. P., Kaler E. W. Polymerization of and within self-organized media // *Curent Opinion in Colloid and Interface Science*, 2003. Vol. 8. Pp. 164-178.
4. Biologically erodable microspheres as potential oral drug delivery systems / E. Mathiowitz, J. S. Jacob, Y. S. Jong, G. P. Carino, D. E. Chickering, P. Chaturvedi, C. A. Santos, K. Vijayaraghavan, S. Montgomery, M. Bassett, C. Morrell // *Nature*. 1997. Vol. 386(6623). Pp. 410-414.
5. Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions /

A. C. Mendes, E. T. Baran, C. Nunes // *Journal of The Royal Society of Chemistry*, 2011. URL: <http://www.rsc.org/suppdata/sm/c1/c1sm05594a/c1sm05594a.pdf>.

6. Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchicacally Ordered Microcapsule Structures / R. K. Rana, V. S. Murty, J. Yu // *Advanced Materials*. 2005. Vol. 17, Pp. 1145-1150.

#### References

1. Grigoriev, F. V., Romanov, A. N., Laikov, D. N. & et al., (2010), "Methods of molecular modeling of supramolecular complexes: a hierarchical approach", *Rossijskie nanotekhnologii*, 5-6, 47-53.
2. Zorkiy, P. M. & Lubnina, I. E. (1999), "Supramolecular chemistry: origin, development, prospects", *Vestn. Mosk. un-ta*, 5, 300-307.
3. Hentze, H. P. & Kaler E. W. (2003), "Polymerization of and within self-organized media", *Curent Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, 164-178.
4. Mathiowitz, E., Jacob, J. S., Jong, Y. S., Carino, G. P., Chickering, D. E., Chaturvedi, P., Santos, C. A., Vijayaraghavan, K., Montgomery, S., Bassett, M. & Morrell C. (1997), Biologically erodable microspheres as potential oral drug delivery systems *Nature*, 386(6623), 410-414.
5. Mendes, A. C., Baran, E. T. & Nunes C. (2011), "Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions", *Journal of The Royal Society of Chemistry*, available at: <http://www.rsc.org/suppdata/sm/c1/c1sm05594a/c1sm05594a.pdf>.
6. Rana, R. K., Murty, V. S. & Yu J. (2005), "Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchicacally Ordered Microcapsule Structures", *Advanced Materials*, 17, 1145-1150.

**Кролевец Александр Александрович**, доктор химических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, заведующий лабораторией «Синтез микро- и наноструктур» Региональный открытый социальный институт  
**Krolevets Aleksandr Aleksandrovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Food Technology, Head of the Laboratory «Synthesis of micro- and nanostructures» Regional Open Social Institute



**Левченко Оксана Викторовна**, старший преподаватель кафедры технологии продовольственных продуктов и товароведения Регионального открытого социального института

**Levchenko Oksana Viktorovna**, Senior Lecturer of the Department of Technology of Food Products and Commodity Research  
Regional Open Social Institute

**Глотова Светлана Григорьевна**, доцент кафедры технологии продовольственных продуктов и товароведения  
Региональный открытый социальный институт

**Glotova Svetlana Grigoryevna**, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products and Commodity Research  
Regional Open Social Institute

**Семичев Кирилл Михайлович**, лаборант-исследователь лаборатории «Синтез микро- и наноструктур»

Региональный открытый социальный институт  
**Semichev Kirill Mikhailovich**, laboratory assistant researcher of the laboratory «Synthesis of micro- and nanostructures»  
Regional Open Social Institute

**Дубцова Галина Николаевна**, профессор кафедры биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза

Московский государственный университет пищевых производств

**Dubtsova Galina Nikolaevna**, Professor of the Department of Biotechnology and Technology of Products of Bioorganic Synthesis  
Moscow State University of Food Production