

УДК 620.3: 615.214.24

DOI: 10.18413/2408-9346-2018-4-3-0-6

Кролевец А. А.¹
Мячикова Н. И.²
Левченко О. В.³
Глотова С. Г.⁴
Семичев К. М.⁵

Свойства наноструктурированной спирулины

- ¹) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85, Курск, 305009, Россия.
a_krolevets@inbox.ru
- ²) Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия. *myachikova@bsu.edu.ru*
- ³) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85, Курск, 305009, Россия.
frosch23@list.ru
- ⁴) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85, Курск, 305009, Россия.
ladiglotovaveta@yandex.ru
- ⁵) Региональный открытый социальный институт, ул. Маяковского, д. 85, Курск, 305009, Россия.
kirill.semichev@yandex.ru

Статья поступила 25 июля 2018 г.; принята 20 августа 2018 г.; опубликована 30 сентября 2018 г.

Аннотация. С помощью метода анализа траектории частиц (метод NTA) найдены размеры наноструктурированной спирулины, которые существенно зависят от природы оболочки. Так, наименьший размер имеют частицы в каппа-каррагинане, ксантановой камеди и пектине.

Ключевые слова: наноструктурированная спирулина, метод NTA, самоорганизация.

UDC 620.3: 615.214.24

A. A. Krolevets¹
N. I. Myachikova²
O. V. Levchenko³
S. G. Glotova⁴
K. M. Semichev⁵

Properties of nanostructured spiruline

- ¹) Regional Open Social Institute, st. Mayakovsky, 85, Kursk, Russia.
a_krolevets@inbox.ru
- ²) Belgorod State National Research University, 85, Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia.
myachikova@bsu.edu.ru

- ³⁾ Regional Open Social Institute, st. Mayakovsky, 85, Kursk, 305009, Russia.
frosch23@list.ru
- ⁴⁾ Regional Open Social Institute, st. Mayakovsky, 85, Kursk, 305009, Russia.
ladiglotovasveta@yandex.ru
- ⁵⁾ Regional Open Social Institute, st. Mayakovsky, 85, Kursk, 305009, Russia.
kirill.semichev@yandex.ru

Abstract: Using the method of analyzing the trajectories of particles (NTA method), the sizes of nanostructured spirulina were found, which significantly depend on the nature of the shell. Thus, the particles in kappa carrageenan, xanthan gum and pectin have the smallest size.

Key words: nanostructured spirulina, NTA method, self-organization.

Введение. Спирулина – это сине-зелёная водоросль-долгожитель. Она обладает высокой пищевой ценностью и полностью усваивается организмом человека. Водоросль относится к роду цианобактерий. Она богата не только полезными веществами, но и витаминами. В₂, В₆ и В₁₂, которые регулируют холестерин в крови, нормализуют обмен веществ и принимают активное участие в процессе кроветворения.

Витамины Е и РР благотворно влияют на работу пищеварительной, нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем. Их содержание в спирулине намного больше, чем в мясной пище. Водоросль – прекрасный источник белка для вегетарианцев, в ней много легкоусвояемого железа.

Полезные свойства спирулины:

- антиоксидантные – высокое содержание каротина (в 10 раз больше, чем в моркови), ненасыщенных омега- и аминокислот;
- противовоспалительные – стимулирует процессы регенерации, уменьшает проявление акне- и дерматитов;
- очищающие – выводит шлаки и токсины из организма, укрепляет иммунитет;
- антиаллергенные – помогает избавиться от аллергической реакции на пыльцу и другие виды растений.

Данная работа является продолжением наших исследований по изучению

свойств наноструктурированных биологических веществ (Кролевец, 2015, 2017а, 2017б, 2018а, 2018б).

В литературе имеются данные, что размер нанокапсул, содержащих биологически активные соединения, имеет существенное значение для их физиологической активности в организме (Patent, 2011). На примере многих лекарственных веществ было показано, что уменьшение размеров частиц приводит к изменению биодоступности и эффективности (Vidhyalakshmi, 2009).

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, 2010, Зоркий, 1999). В супрамолекулярной химии для достижения контролируемой сборки молекулярных сегментов и спонтанной организации молекул в стабильной структуре используют нековалентные взаимодействия (Rohit, 2005, Ana Carina Mendes, 2011). Самоорганизующиеся структуры можно имитировать как аспекты биологических систем: искусственные клетки мембран, ферментов или каналы (Hans-Peter Hentze, 2003).

Общим свойством самоорганизующихся систем является самосогласованность микрообъектов системы. Самоорганизованные структуры возникают в открытых системах, т. е. системах, подвергающихся воздействию извне притока вещества, энергии или информации через границы системы. Условие внешнего воздействия является обязательным, но недостаточным. Необходимо обеспечить определенную мощность воздействия, чтобы был возможен переход системы в особую, нелинейную область, называемую областью, удаленной от равновесия.

Процесс спонтанной самоорганизации является переходом от беспорядочного движения, хаотического состояния через нарастание флуктуаций к новому порядку. Переход из метастабильного состояния в основном зависит от механизмов процесса самоорганизации, которые могут весьма существенно различаться. При кристаллизации сплавов исследование метастабильных состояний и механизмов самоорганизации сильно осложняется, так как при каждой температуре, давлении и флуктуациях состава должно существовать свое основное состояние системы. Очевидно, что и скорости релаксационных процессов могут быть существенно различными.

Основная часть.

Цель исследований – определение свойств наноструктурированной спирулины как перспективного наноингредиента пищевых продуктов функционального назначения.

Материалы и методы исследования. Материалами исследования являлись

нанокапсулы спирулины в различных оболочках. В качестве последних использовались альгинат натрия, агар-агар, каппа-каррагинан, гуаровая камедь.

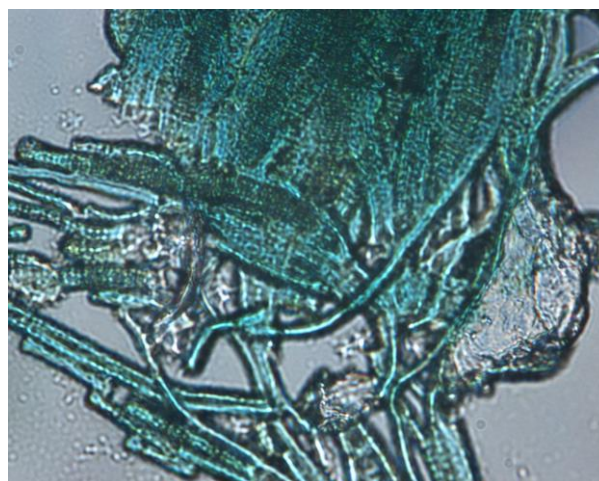
Для изучения самоорганизации нанокапсул порошок наноструктурированной спирулины растворяли в воде при соотношении исследуемого порошка и воды 1 : 100. Каплю исследуемого образца наносили на покровное стекло и выпаривали. Высушенную поверхность сканировали методом конфокальной микроскопии на микроспектретре OmegaScore, производства AIST-NT (г. Зеленоград), совмещенном с конфокальным микроскопом. На этом же приборе получали микрофотографии с самоорганизацией.

Определение размера нанокапсул методом анализа траекторий наночастиц проводили на мультипараметрическом анализаторе наночастиц Nanosight LM0 производства Nanosight Ltd (Великобритания) в конфигурации HS-BF (высокочувствительная 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 215s, использование шприцевого насоса.

Результаты исследования и их обсуждение. Микрофотографии нанокапсул спирулины с самоорганизацией представлены на рис. 1-3.



а



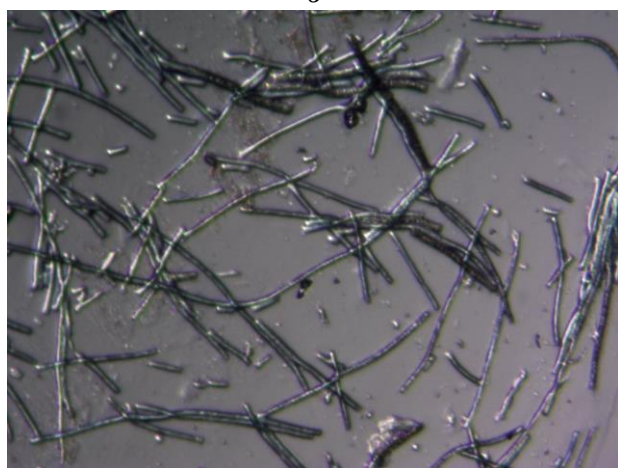
б



в



г



д



е

Рис. 1. Конфокальное изображение самоорганизации нанокapsул спирулины:
а) в альгинате натрия: соотношение ядро : оболочка 1 : 3, концентрация 0,25%, увеличение
в 920 раз; б) в агар-агаре: соотношение ядро : оболочка 1 : 3, концентрация 0,125%,
увеличение в 1200 раз; в) в каррагинане: соотношение ядро:оболочка 1 : 3, концентрация 0,125%,
увеличение в 530 раз; г) в каппа-каррагинане: соотношение ядро : оболочка 1 : 1,
концентрация 0,125%, увеличение в 400 раз; д) в каппа-каррагинане: соотношение ядро : оболочка 1
: 2, концентрация 0,5%, увеличение в 400 раз; е) в каппа-каррагинане, соотношение ядро :
оболочка 1 : 3, концентрация 0,125%, увеличение в 400 раз

Fig. 1. Confocal image of self-organization of spirulina nanocapsules:

- a) in sodium alginate: the ratio of core: shell 1: 3, concentration 0.25%, increase 920 times; б) in agar-agar: core: shell 1: 3 ratio, concentration 0.125%, increase 1200 times; в) in carrageenan: the ratio of poison-po: shell 1: 3, concentration 0.125%, an increase of 530 times; г) in kappa-carrageenan: the ratio of the core: shell 1: 1, concentration 0.125%, magnification 400 times; д) in kappa-carrageenan: the ratio of the core: shell 1: 2, concentration 0.5%, increase 400 times; e) in kappa-carrageenan, the ratio of core: shell 1: 3, concentration 0.125%, increase 400 times*

Как видно из рис. 1, 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, нанопсулированная полимерной оболочкой спирулина обладает 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.

Изучение нанопсулированной спирулины в сильно разбавленных водных растворах проводилось с помощью метода НТА (метод анализа траектории наночастиц).

На рис. 2-10 представлены результаты измерения для нанокапсул спирулины в различных оболочках.

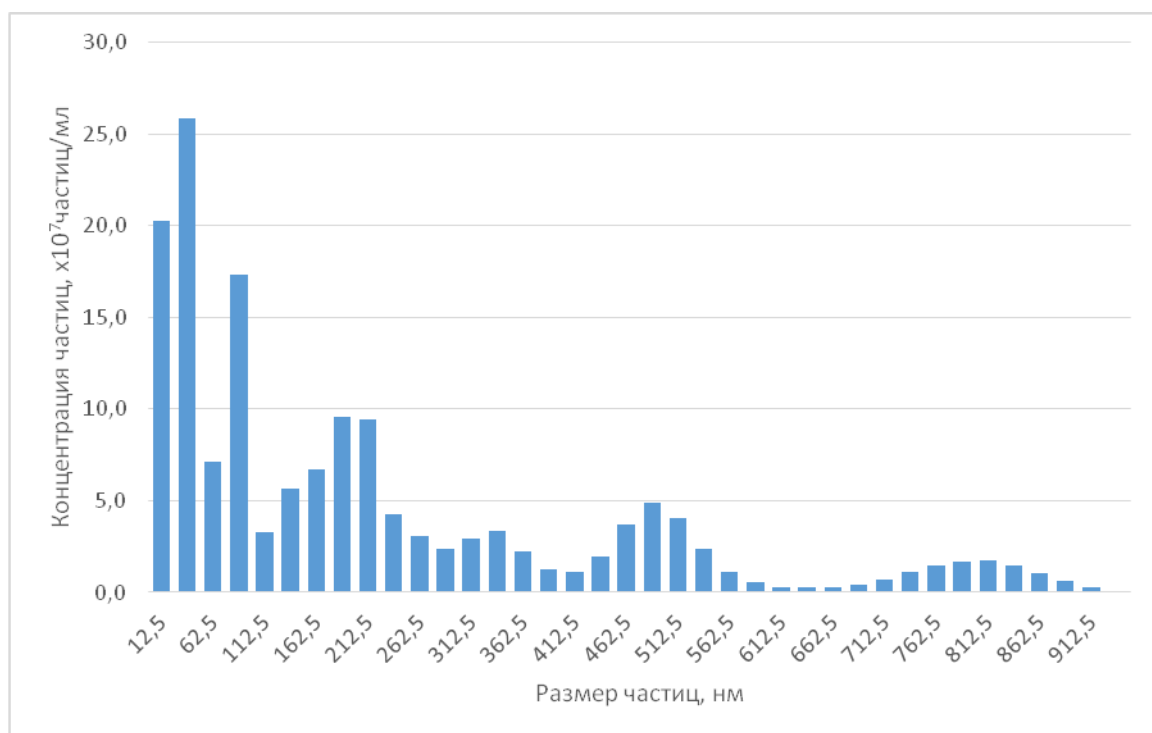


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в образце нанокапсул спирулины в альгинате натрия (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 2. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in sodium alginate (ratio core: shell 1: 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 1

Таблица 1

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

Table 1

Statistical characteristics of the particle size distribution in the sample nanocapsule spirulina in sodium alginate (ratio core: shell 1 : 3)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	259,9
D10, нм	20,1
D50, нм	132,5
D90, нм	701,4
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	5,14
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	16,30

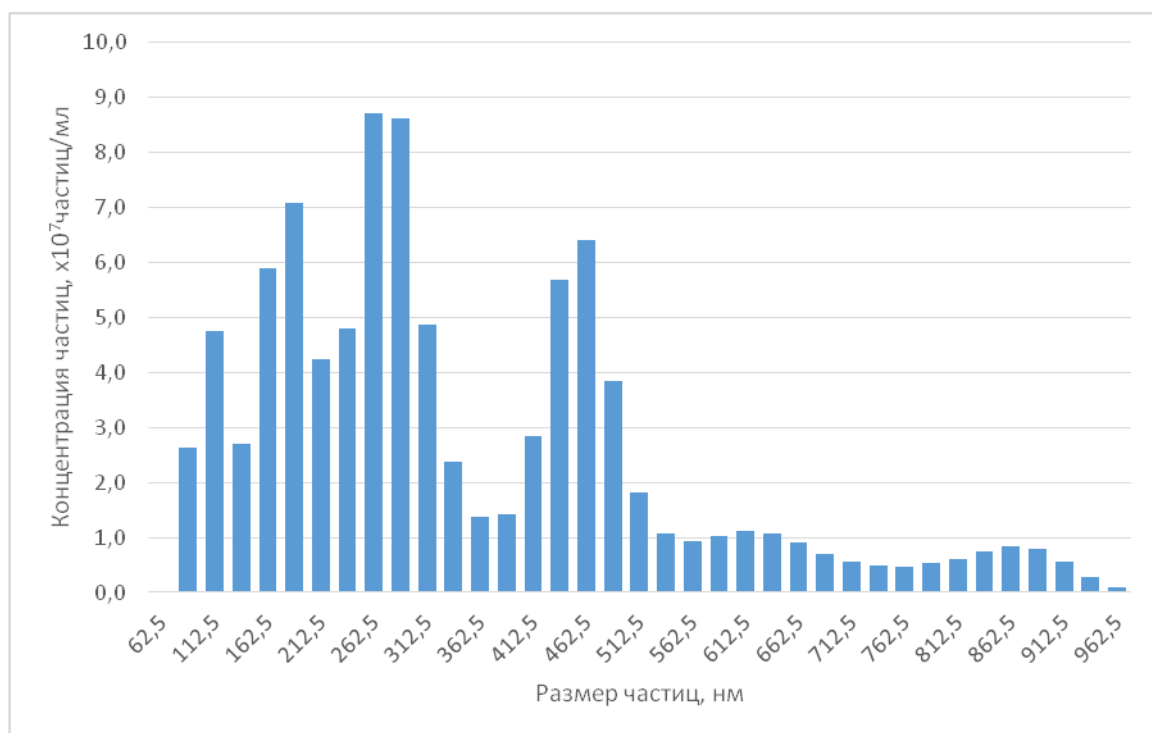


Рис. 3. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в агар-агаре (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 3. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in agar-agar (core : shell ratio 1 : 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 2.

Таблица 2

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

Table 2

Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in agar-agar (core : shell ratio 1 : 3)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	354,3
D10, нм	118,4
D50, нм	267,5
D90, нм	603,8
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	1,81
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	9,38

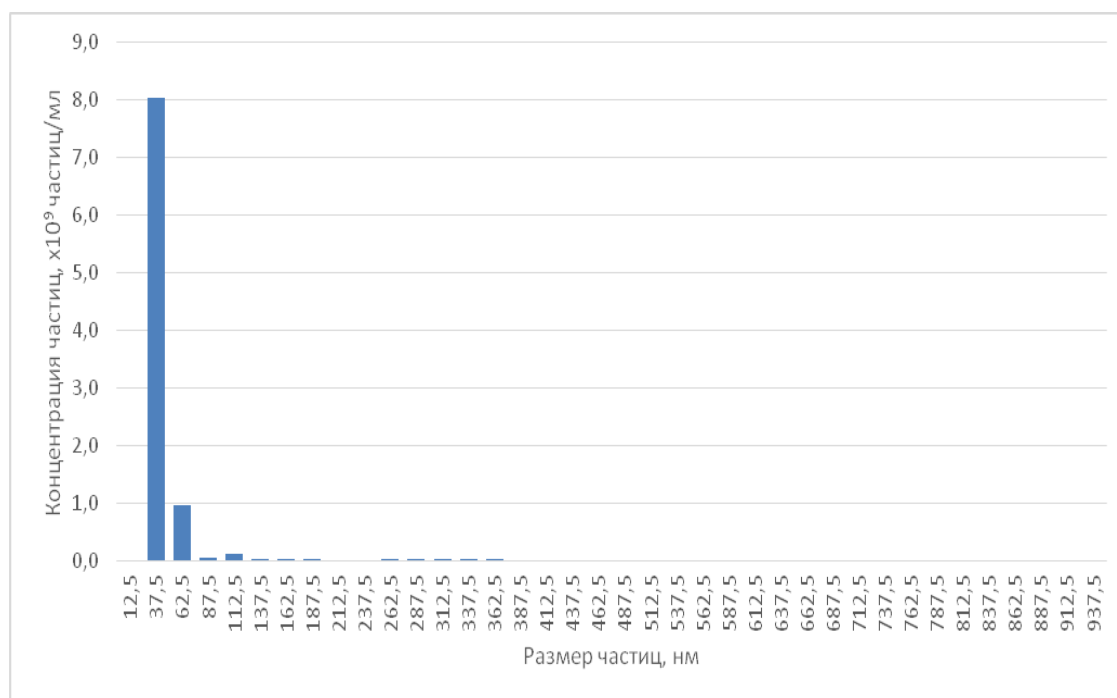


Рис. 4. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в каппа-каррагинане (соотношение ядро : оболочка 1 : 1)

Fig. 4. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in kappa-carrageenan (ratio core : shell 1 : 1)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в каппа-каррагинане (соотношение ядро : оболочка 1 : 1)

Table 3

Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in kappa-carrageenan (ratio of core : shell 1 : 1)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	42,5
D10, нм	25
D50, нм	25
D90, нм	32,7
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	0,31
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	92,7

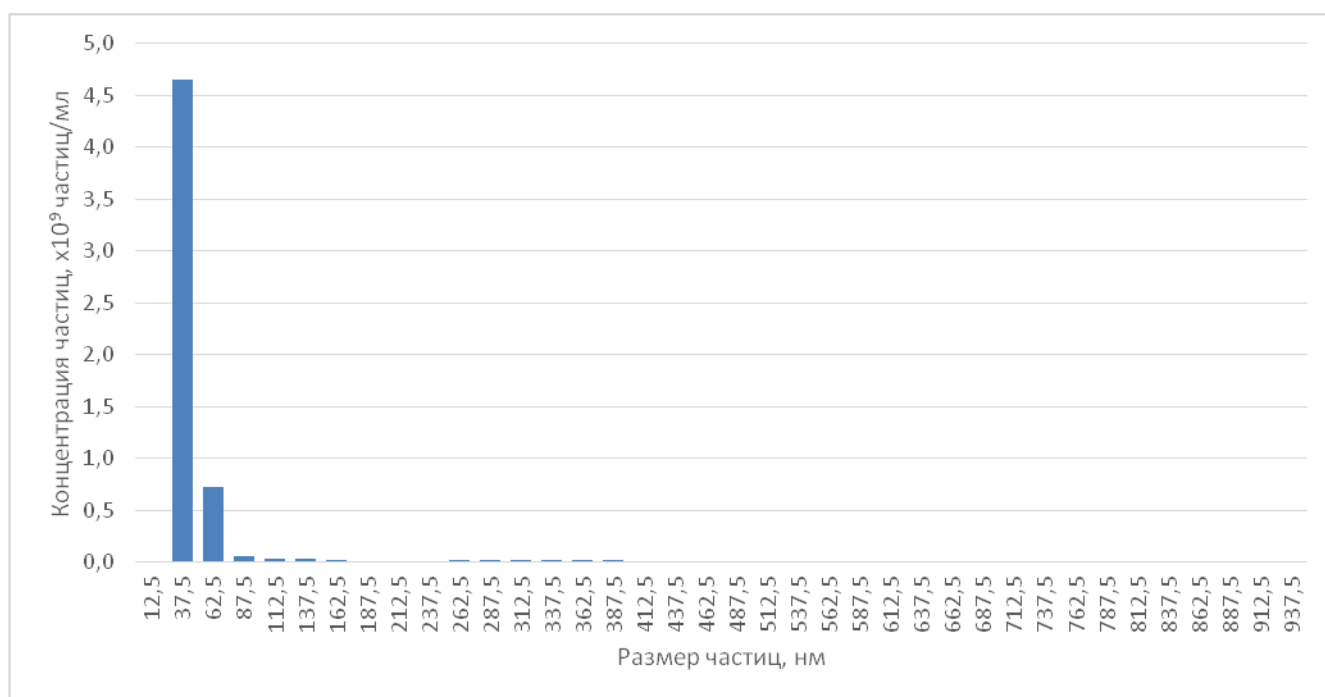


Рис. 5. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в каппа-каррагинане (соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Fig. 3. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in kappa-carrageenan (ratio core : shell 1 : 3)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Статистические характеристики распределения частиц по размерам
в образце нанокапсул спирулины в каппа-каррагинане
(соотношение ядро : оболочка 1 : 3)

Table 4

Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules
in kappa-carrageenan (ratio of core : shell 1 : 3)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	42,4
D10, нм	25
D50, нм	25
D90, нм	35,1
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	0,4
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	54,9

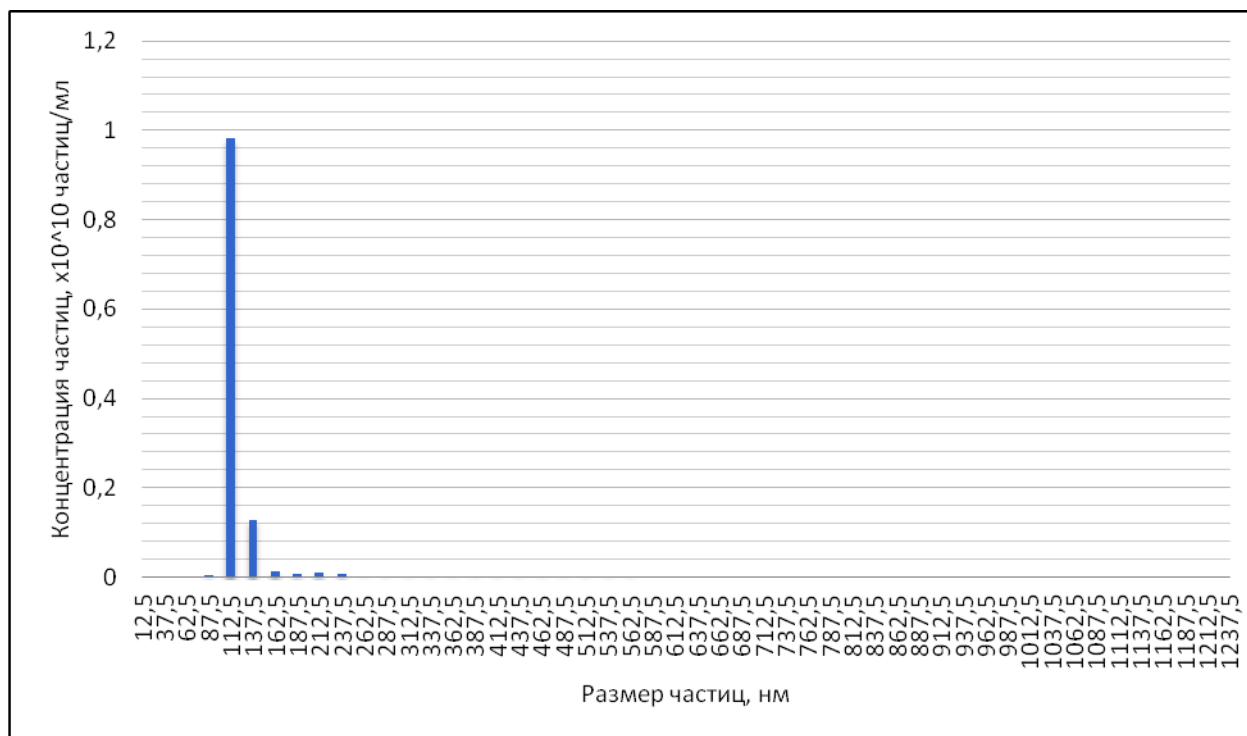


Рис. 6. Распределение частиц по размерам в образце нанокапсул спирулины в гуаровой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 1)
Fig. 6. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in guar gum (ratio core : shell 1 : 1)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 5.

Таблица 5

Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в гуаровой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 1)

Table 5

Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in guar gum (ratio core : shell 1 : 1)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	118,8
D10, нм	77,8
D50, нм	89,6
D90, нм	110,7
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	0,37
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	116

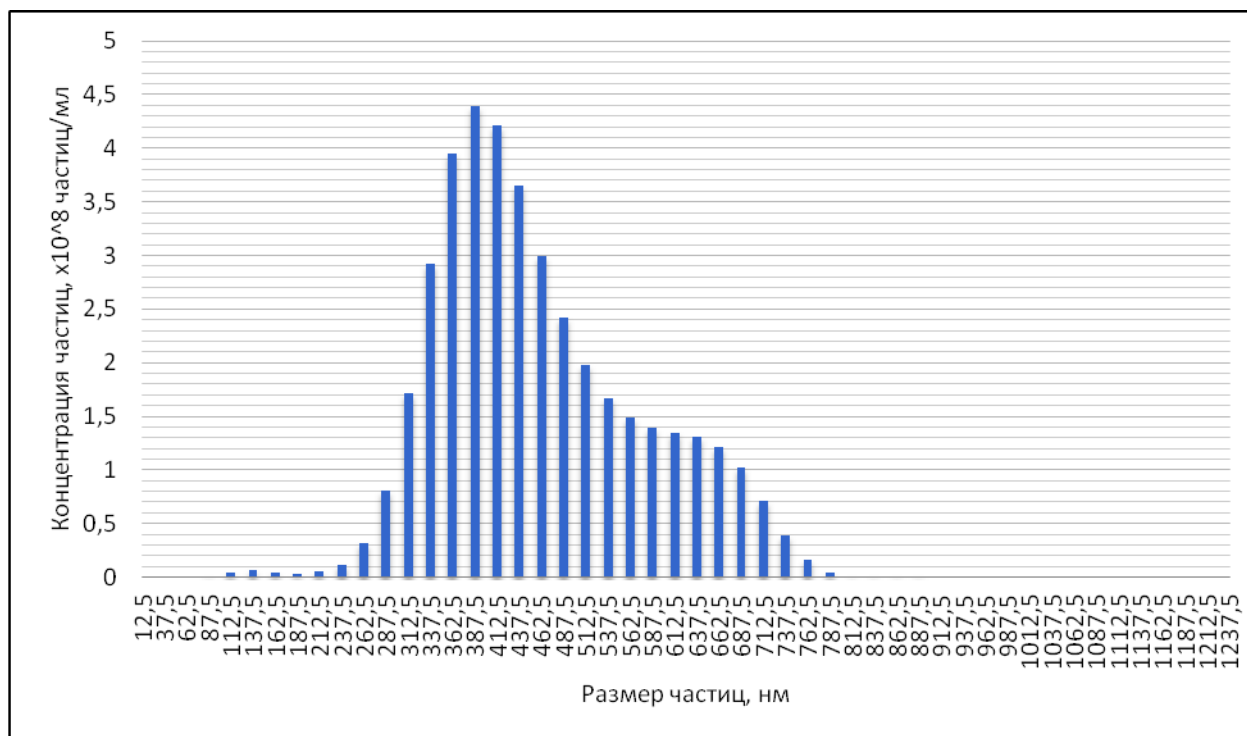


Рис. 7. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в гуаровой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 2)
Fig. 7. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in guar gum (ratio core : shell 1 : 2)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 6.

Таблица 6

Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в гуаровой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 2)

Table 6

Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in guar gum (ratio core : shell 1 : 2)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	460,3
D10, нм	307,2
D50, нм	410,7
D90, нм	615,5
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	0,75
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	40,5

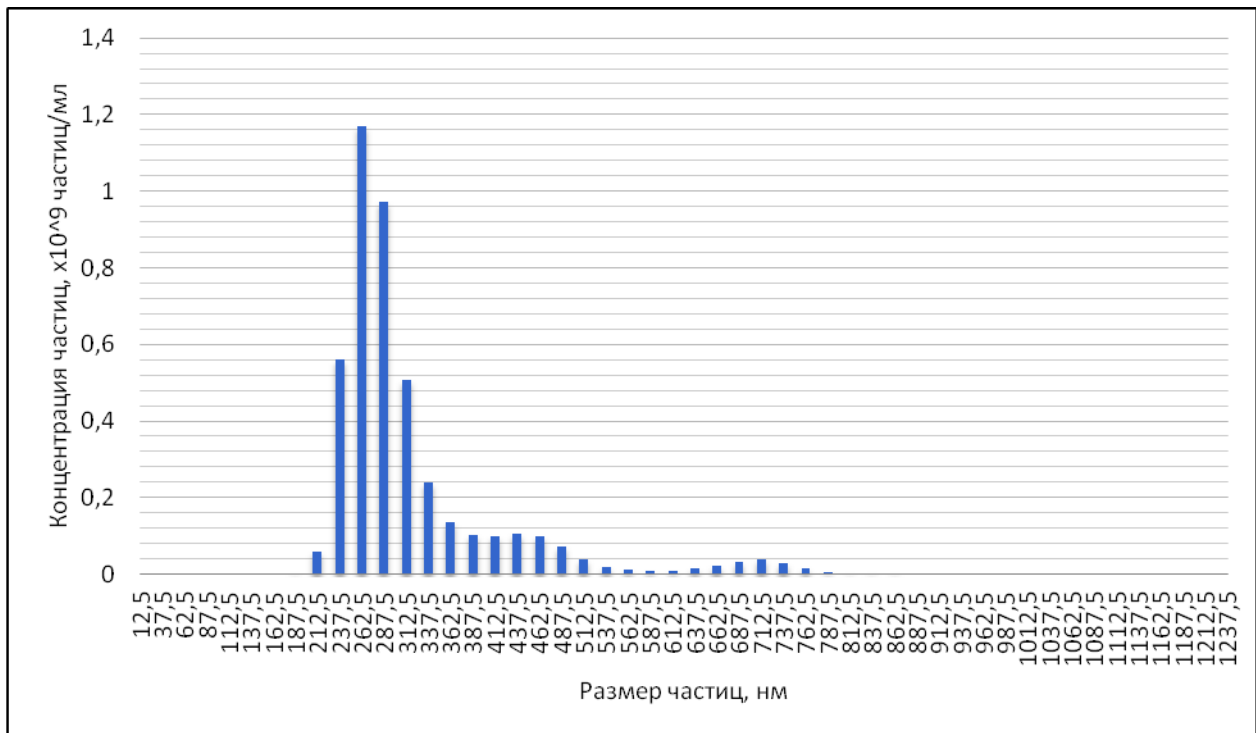


Рис. 8. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в гуаровой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 2)

Fig. 8. Particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in guar gum (core : shell ratio 1 : 2)

Статистические характеристики распределений приведены в табл. 7.

Таблица 7

Статистические характеристики распределения частиц по размерам в образце нанокapsул спирулины в гуаровой камеди (соотношение ядро : оболочка 1 : 2)

Table 7

Statistical characteristics of particle size distribution in a sample of spirulina nanocapsules in guar gum (ratio core : shell 1 : 2)

Параметр	Значение
Средний размер, нм	97,5
D10, нм	53,9
D50, нм	69,3
D90, нм	93,7
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	0,57
Общая концентрация частиц, $\times 10^8$ частиц/мл	102

Заключение. Полученные данные доказывают наличие нанокapsул в растворах изучаемых образцов. Из рисунков видно, что размеры капсул практически не превышают порога в 460 нм, а их основная масса лежит в пределах 25-100 нм. Также можно отметить изменение размера наночастиц в зависимости от природы оболочки и соотношения ядро : оболочка. Например, наибольшие средние размеры (460 нм) образуются в гуаровой камеди при соотношении ядро : оболочка 1 : 2, а наименьший средний размер (42 нм) образуется в каппа-каррагинане. При этом наименьший размер D₁₀ (25 нм) дает также каппа-каррагинан.

Учитывая размеры капсул наноструктурированной спирулины, можно предположить, что они будут обладать лучшей усвояемостью, и могут быть рекомендованы для использования в составе препаратов медицинского назначения и в пищевой промышленности для создания продуктов функционального назначения.

Список литературы

1. Кролевец, А. А., Мячикова, Н. И., Хаит, Е. А., Андреевков, В. С. Свойства наноструктурированного креатин гидрата для создания функциональных продуктов питания для спортсменов // Технологии и продукты

здорового питания : матер. IX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию специальности «Технология продукции и организация общественного питания» / Саратовский гос. аграрн. ун-т им. Н.И. Вавилова. Саратов. 2015. С. 192-195.

2. Кролевец, А. А., Воронцова, М. Л. Влияние природы оболочки на размер наноструктурированного витамина D и использование витамина в качестве наноингредиента в функциональных продуктах питания // Провинциальные научные записки. 2017а. № 1(5). С. 126-130.

3. Кролевец, А. А., Мячикова, Н. И., Гребенник, М. М., Андреевков, В. С. Применение наноструктурированного бетулина при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания // Товаровед прод. товаров. 2017б. № 9. С. 35-41.

4. Кролевец, А. А., Мячикова, Н. И., Левченко, О. В., Глотова, С. Г. Применение наноструктурированного экстракта зеленого чая при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания // Товаровед прод. товаров. 2018а. № 3. С. 58-62.

5. Кролевец, А. А., Левченко О. В., Глотова С. Г., Семичев К. М., Дубцова Г. Н. Свойства наноструктурированного унаби // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. 2018б. Т. 4, № 2.

6. Patent 20110223314 United States, International Class B05D 7/00 20060101 B05D007/00. Efficient Microencapsulation. ZHANG; Xiaoxiao; (Honolulu, HI); Garmire; David; (Honolulu, HI); Ohta; Aaron; (Honolulu, HI). Serial No.: 045244. Filed: March 10, 2011.

7. Vidhyalakshmi, R., Bhagyaraj, R., Subhasree, R. S. A Review // *Advances in Biological Research*. Vol. 3-4. 2009. Pp. 96-103.

8. Григорьев, Ф. В., Романов, А. Н., Лайков, Д. Н. и др. Методы молекулярного моделирования супрамолекулярных комплексов: иерархический подход // *Российские нанотехнологии*. 2010. №5-6. С. 47-53.

9. Зоркий, П. М., Лубнина, И. Е. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы // *Вестн. Моск. ун-та*. 1999. №5. С. 300-307.

10. Rohit K. Rana, Vinit, S. Murty, Jie Yu Nanoparticle Self-Asseby of Hierarchicacally Ordered Microcapsule Structures // *Advanced Materials*. 2005. Vol. 17. Pp. 1145-1150.

11. Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions // *Journal of The Royal Society of Chemistry*. 2011.

12. Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler Polymerization of and within self-organized media // *Curent Opinion in Colloid and Interface Science*. 2003. Vol. 8. Pp. 164-178.

References

1. Krolevets, A. A., Myachikova, N. I., Hait, E. A. and Andreenkov, V. S. (2015), "Properties of nanostructured creatine hydrate to create functional foods for athletes", *Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 20-letiyu special'nosti «Tekhnologiya produkcii i organizaciya obshchestvennogo pitaniya» «Tekhnologii i produkty zdorovogo pitaniya»* [Materials IX International scientific-practical conf., dedicated The 20th anniversary of the specialty "Technology products and the organization of public catering" "Tech-

nologies and healthy foods"]. Saratov, Russia, 192–195. [in Russian].

2. Krolevets, A. A. and Voroncova, M. L. (2017a), "The influence of the nature of the shell on the size of nanostructured vitamin D and the use of vitamin as a nano-ingredient in functional foods", *Provincial'nye nauchnye zapiski*, 1(5), 126–130. [in Russian].

3. Krolevets, A. A., Myachikova, N. I., Grebennik, M. M. and Andreenkov, V. S. (2017b), "The use of nanostructured betulin in the production of fermented milk functional foods", *Tovaroved prodovol'stvennyh tovarov*, 9, 35–41. [in Russian].

4. Krolevets, A. A., Myachikova, N. I., Levchenko, O. V., and Glotova, S. G. (2018a), "The use of nanostructured green tea extract in the production of fermented milk functional foods", *Tovaroved prodovol'stvennyh tovarov*, 3, 58–62. [in Russian].

5. Krolevets A. A., Levchenko O. V., Glotova S. G., Semichev K. M., Dubcova G. N. (2018b), "Properties of nanostructured unabi", *Nauchnyj rezul'tat. Tekhnologii biznesa i servisa*. V. 4, № 2. [in Russian].

6. Zhang, Xiaoxiao; Garmire, David; Ohta, Aaron (2011), "Efficient Microencapsulation", Pat. USA 20110223314. [in English].

7. Vidhyalakshmi, R., Bhagyaraj, R., Subhasree, R. S. (2009), "A Review", *Advances in Biological Research*, 3–4, 96–103. [in English].

8. Grigor'ev, F. V., Romanov, A. N., Lajkov, D. N. and etc. (2010), "Molecular modeling methods for supramolecular complexes: a hierarchical approach", *Rossijskie nanotekhnologii*, 5–6, 47–53. [in Russian].

9. Zorkij, P. M. and Lubnina, I. E. (1999), "Supramolecular chemistry: the emergence, development, prospects", *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 5, 300–307. [in Russian].

10. Rohit K. Rana, Vinit, S. Murty, Jie Yu (2005), "Nanoparticle Self-Asseby of Hierarchicacally Ordered Microcapsule Structures", *Advanced Materials*, 17, 1145–1150. [in English].

11. Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes (2011), "Palmitoylation of

xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions”, *Journal of The Royal Society of Chemistry*. [in English].

12. Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler (2003), “Polymerization of and within self-organized media”, *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, 164–178. [in English].

Кролевец Александр Александрович, заведующий лабораторией «Синтез микро- и наноструктур»
Региональный открытый социальный институт

Мячикова Нина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии продуктов питания и сферы услуг Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»)

Левченко Оксана Викторовна, инженер лаборатории «Синтез микро- и наноструктур»
Региональный открытый социальный институт

Глотова Светлана Григорьевна, доцент кафедры технологии продуктов питания и товарооборота
Региональный открытый социальный институт

Семичев Кирил Михайлович, лаборант-исследователь лаборатории «Синтез микро- и наноструктур»
Региональный открытый социальный институт

Aleksandr Aleksandrovich Krolevets, Head of the Laboratory "Synthesis of micro- and nanostructures"
Regional Open Social Institute

Nina Ivanovna Myachikova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Food Technology and Human Services
Belgorod State National Research University

Oksana Viktorovna Levchenko, Engineer of the laboratory "Synthesis of micro-and nanostructures"
Regional Open Social Institute

Svetlana Grigor'evna Glotova, Associate Professor at the Department of Food Technology and Merchandising
Regional Open Social Institute

Kirill Mihajlovich Semichev, Laboratory researcher of the laboratory "Synthesis of micro-and nanostructures"
Regional Open Social Institute