

РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫХ БАВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ТКАНЕЙ

В.Ю. Гришина, А.А. Громов, К.А. Ерзунов, М. Байраммадова, О.И. Одинцова

Кафедра химической технологии текстильных материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр-т, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru

Разработка текстильных материалов с улучшенными эксплуатационными и уникальными функциональными свойствами является одной из важных задач современной текстильной промышленности. Особое внимание уделяется созданию изделий с пролонгированным ароматерапевтическим и антибактериальным действием, сочетающим повышенные гигиенические показатели: приятный аромат, высокую капиллярность и смачиваемость. Современные отделочные препараты, основанные на агрессивных химических соединениях, способны вызывать аллергические и воспалительные реакции на кожных покровах. В связи с этим, становится актуальным переход к использованию более экологически безопасных биосовместимых веществ, таких как эфирные масла.

Статья посвящена созданию функциональных дисперсий, содержащих микрокапсулированные эфирные масла, для заключительной отделки текстильных материалов на основе волокон различной природы. Применение метода микрокапсулирования является эффективным решением проблемы высокой летучести эфирных масел, существенно расширяя возможности их иммобилизации и фиксации на волокнистых материалах. Формирование полимерной оболочки вокруг липофильного ядра обеспечивает надежную инкапсуляцию активного агента, предотвращая его окислительную деградацию, испарение и преждевременную инактивацию под воздействием температуры, влажности и УФ-излучения. В исследовании использованы натуральные биополимеры: ксантановая камедь, гуаровая камедь, акации камедь, пектин, альгинат натрия, а также синтетический полиэлектролит акремон LK-2. Опробован в качестве оболочкоформирующего вещества белок шелка серицин, обладающий антимикробными и антиоксидантными свойствами. Предложено использование системы биосовместимых эмульгаторов, таких как твин-80 и глюкопон-225, обеспечивающих стабильность дисперсий. Методом динамического рассеяния света установлено, что применение для формирования оболочки микрокапсулы гуаровой камеди и белка серицина позволяет получать частицы нанометрового размера с высокой кинетической стабильностью и агрегативной устойчивостью в течение продолжительного времени.

Ключевые слова: микрокапсулирование, биологически активные вещества, эфирные масла, серицин, функциональный текстиль

DEVELOPMENT OF A COMPOSITION BASED ON MICROENCAPSULATED BAS FOR FABRIC FINISHING

V.Yu. Grishina, A.A. Gromov, K.A. Erzunov, M. Bayrammadova, O.I. Odintsova

Department of Chemical Technology of Textile Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation
E-mail: erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru

Developing textile materials with improved performance and unique functional properties is a key challenge in the modern textile industry. Particular attention is paid to creating products

with prolonged aromatherapy and antibacterial properties, combining enhanced hygienic properties such as a pleasant aroma, high capillarity, and wettability. Modern finishing agents based on aggressive chemical compounds can cause allergic and inflammatory reactions on the skin. Therefore, a shift toward more environmentally friendly, biocompatible substances, such as essential oils, is becoming increasingly important.

This article focuses on the creation of functional dispersions containing microencapsulated essential oils for the final finishing of textile materials made from various fibers. Microencapsulation offers an effective solution to the problem of the high volatility of essential oils, significantly expanding the possibilities for their immobilization and fixation on fibrous materials. Forming a polymer shell around a lipophilic core ensures reliable encapsulation of the active agent, preventing its oxidative degradation, evaporation, and premature inactivation under the influence of temperature, humidity, and UV radiation. Natural biopolymers were used in the study: xanthan gum, guar gum, acacia gum, pectin, sodium alginate, and the synthetic polyelectrolyte acremone LK-2. The silk protein sericin, which has antimicrobial and antioxidant properties, was tested as a shell-forming substance. The use of a system of biocompatible emulsifiers, such as Tween-80 and glucopone 225, is proposed, ensuring dispersion stability. Dynamic light scattering demonstrated that the use of guar gum and sericin protein to form the microcapsule shell allows for the production of nanometer-sized particles with high kinetic stability and aggregation stability over a long period of time.

Keywords: microencapsulation, biologically active substances, essential oils, sericin, functional textiles

Для цитирования:

Гришина В.Ю., Громов А.А., Ерзунов К.А., Байраммадова М., Одинцова О.И. Разработка состава композиции на основе микрокапсулированных бав для отделки тканей. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2026. Т. LXX. № 2. С. 63–68. DOI: 10.6060/rcj.2026702.8.

For citation:

Grishina V.Yu., Gromov A.A., Erzunov K.A., Bayrammadova M., Odintsova O.I. Development of a composition based on microencapsulated bas for fabric finishing. *Ros. Khim. Zh.* 2026. V. 70. N 2. P. 63–68. DOI: 10.6060/rcj.2026702.8.

ВВЕДЕНИЕ

Современная текстильная промышленность активно разрабатывает функциональные материалы с улучшенными эксплуатационными свойствами, такими как антибактериальная активность, повышенная капиллярность и впитываемость, а также приятный аромат, оказывающий расслабляющее и терапевтическое воздействие [1-5]. В частности, текстильные материалы с пролонгированным антимикробным эффектом востребованы в медицине, спорте и в ряде отраслей промышленности, где требуется высокий уровень гигиены и снижение риска внутрибольничных инфекций [6-8]. С этой целью используются различные биоцидные препараты на основе солей серебра или антибиотиков [9]. Однако применение таких модификаторов для создания изделий, непосредственно контактирующих с кожей человека, может быть сопряжено с риском возникновения сухости, раздражения, аллергических реакций и в некоторых случаях серьезных химических воспалений.

В связи с этим перспективным подходом становится использование для функциональной отделки текстильных материалов более мягких природных средств, например, различных эфирных масел [10, 11]. Актуальность применения эфирных масел обусловлена их природным происхождением, биоразлагаемостью в почве и воде, экологической безопасностью и низкой токсичностью для человека [12]. Использование таких природных агентов способствует устойчивому развитию и охране окружающей среды.

Однако применение эфирных масел в свободной форме также имеет ограничения, связанные с их высокой летучестью, низкой степенью фиксации на текстильном материале и отсутствием защиты от внешнего воздействия. Это делает разработку новых технологий их доставки приоритетной задачей. Микрокапсулирование представляет собой перспективный подход, позволяющий не только преодолеть недостатки эфирных масел, но и многократно усилить их функциональные свойства при одновременном снижении требуемых дозировок [13, 14].

Технология микрокапсулирования позволяет "заключать" в микроскопические оболочки разнообразные биологически активные вещества (БАВ), создавая таким образом функциональные материалы с заданными свойствами. В ядро капсулы могут быть помещены лекарственные препараты, антисептики, ароматизаторы, репелленты и другие БАВ, высвобождающиеся постепенно под воздействием внешних факторов [15, 16].

Одним из простых и надежных методов микрокапсулирования является метод наноэмульсии, в котором оболочка капсулы формируется путем взаимодействия двух противоположно заряженных полиэлектролитов.

При разработке технологии микрокапсулирования БАВ особое внимание уделяется выбору компонентов оболочки [17, 18]. Для дальнейшего использования состава в биомедицинских разработках оболочкоформирующие вещества должны отвечать требованиям биосовместимости. В текстильной промышленности одним из уникальных природных соединений является белок шелка – серицин, характеризующийся комплексом антибактериальных, антиоксидантных и противовоспалительных свойств [19, 20]. Обладая амфолитной природой, серицин является перспективным компонентом для формирования стабильной оболочки микрокапсулы.

Цель исследования заключается в разработке технологии микрокапсулирования эфирных масел методом полиэлектролитной самосборки с использованием серицина шелка для отделки текстильных материалов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и реактивы

Твин-80 (полисорбат 80-полиоксиэтилен(20)-сорбитанмоноолеат), производство Италия; глюкопон-225, ООО "НОВА"; гуаровая камедь, ксантановая камедь, камедь акации, пектин, альгинат натрия производитель Xinjiang Meihua Amino Acid C.O., LTD; эфирное масло розмарина, производство ООО «Натуральные масла»; эмульгатор Неонол АФ 9/10 (100%), НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ; карбоксипав АФ 6.90 (карбоксилаты оксиэтилированных алкилфенолов, 90%, вода), ООО НПО «НИИПАВ».

Методика эксперимента

Микрокапсулы получены методом электростатической самосборки с использованием катионных и анионных полиэлектролитов [21]. Синтез проходил в несколько этапов:

- эмульгирование эфирного масла в присутствии специально подобранной композиции поверхностно-активных веществ (ПАВ);
- введение в систему катионного полиэлектролита;
- добавление в систему анионного полиэлектролита.

Процесс протекал при постоянном перемешивании на магнитной мешалке (600-700 об/мин) и температуре 40-45 °С.

Размер частиц и дзета-потенциал дисперсий определены с использованием анализатора размеров частиц Photocor Compact-Z. Архитектура оболочек и форма микрокапсул оценивалась при помощи оптического микроскопа «Микмед-6».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При капсулировании гидрофобных веществ, таких как эфирные масла, одной из важнейших стадий является эмульгирование. Выбор поверхностно-активного вещества оказывает влияние на размер и форму синтезируемых микрокапсул, а также устойчивость всей системы. Для достижения минимальных размеров микрокапсул опробованы традиционные для текстильной промышленности текстильно-вспомогательные вещества: Неонол АФ 9/10 и карбоксипав 6.90.

Получены дисперсии, включающие капсулы с оболочками на основе белка шелка серицина и различных полиэлектролитов. Использованы биополимеры натуральной природы: ксантановая камедь, гуаровая камедь, акации камедь, пектин, альгинат натрия, а также синтетический полиэлектролит акремон LK-2. Размер частиц и дзета-потенциал системы представлен в табл. 1.

Агрегативная устойчивость дисперсных систем демонстрирует прямую корреляцию с абсолютным значением дзета-потенциала. Наибольшую кинетическую стабильность проявляют дисперсии, содержащие капсулы с оболочками, синтезированными на основе серицина и следующих компонентов: гуаровой камеди ($-24,99 \pm 0,23$ мВ), акремона LK-2 ($-30,98 \pm 0,16$ мВ), пектина ($-22,80 \pm 0,66$ мВ). В то же время дисперсные системы с капсулами, сформированными на основе серицина и акации камеди ($-9,74 \pm 0,15$ мВ), серицина и альгината натрия ($-12,56 \pm 0,13$ мВ), характеризуются пониженной агрегативной устойчивостью.

Минимальные средние размеры микрокапсул достигнуты при использовании в качестве оболочкоформирующих веществ пар противоположно заряженных полиэлектролитов: камедь акации / серицин, гуаровая камедь / серицин.

Таблица 1

Размер частиц и дзета-потенциал микрокапсул с оболочками на основе различных пар противоположно заряженных полиэлектролитов

Table 1. Particle size and zeta potential of microcapsules with shells based on different pairs of oppositely charged polyelectrolytes

Пары полиэлектролитов	Соотношение частиц, % / Размер частиц, нм	ξ-потенциал, мВ
Акации камедь / Серицин	100 / 7,04	-9,74±0,15
Гуаровая камедь / Серицин	100 / 16,45	-24,99±0,23
Ксантановая камедь / Серицин	100 / 32,67	-20,79±0,39
Альгинат натрия / Серицин	58 / 205,2	-12,56±0,13
	42 / > 1 мкм	
Пектин / Серицин	77 / 197	-22,80±0,66
	23 / > 1 мкм	
Акремон LK-2 / Серицин	100 / 10,07	-30,98±0,16

Поскольку использование синтетических ПАВ для фармацевтических и биомедицинских разработок ограничено их низкой биосовместимостью, в настоящей работе был осуществлен переход к применению разрешенных для медицинского использования эмульгаторов, к таким относятся твин-80 и глюкопон-225. Твин-80 является средним по силе эмульгатором. Известно, что глюкопон-225 является со-ПАВ и зачастую способствует синергизации положительных эффектов действия основных поверхностно-активных веществ. Опробована система ПАВ твин-80 / глюкопон-225 для эмульгирования эфирного масла розмарина. В качестве оболочкоформирующих веществ выбраны гуаровая камедь и серицин (табл. 2).

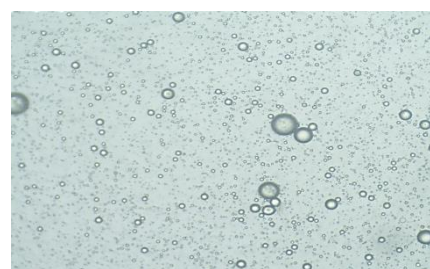


Рис. 1. Микрофотографии микрокапсул, полученных с использованием эмульгаторов твин-80 / глюкопон-225
Fig. 1. Micrographs of microcapsules obtained using emulsifiers Tween-80 / Glucopone-225

Исследованы кинетические закономерности изменения размеров и дзета-потенциала биосовместимых капсул (табл. 3).

Таблица 2

Состав дисперсии при капсулировании эфирного масла розмарина

Table 2. Composition of the dispersion for encapsulation of rosemary essential oil

Состав	Соотношение частиц, % / Размер частиц, нм	ξ-потенциал, мВ
Масло розмарина	100 / 108,8	-11,96 ±0,87
Твин-80		
Глюкопон-225		
Гуаровая камедь		
Серицин		

На полученных микрофотографиях дисперсии наблюдаются микрокапсулы правильной сферической формы с наличием утолщенной оболочки, что обусловлено как особенностью взаимодействия оболочкоформирующих компонентов и ПАВ, так и природой активного вещества – ядра капсулы (рис. 1).

Таблица 3

Исследование устойчивости дисперсий микрокапсул с оболочками на основе серицина и гуаровой камеди

Table 3. Study of the stability of microcapsule dispersions with shells based on sericin and guar gum

Продолжительность экспозиции дисперсии, сут.	Соотношение частиц, % / Размер частиц, нм	ξ-потенциал, мВ
1	100 / 108,8	-11,96±0,87
18	100 / 52,45	-5,70±0,12
22	100 / 84,36	-7,87±0,18
25	100 / 60,74	-6,78±0,10

Агрегативная устойчивость полученной дисперсии сохранялась на протяжении всего времени экспозиции, при этом размер капсул уменьшался. Тенденция к снижению размера частиц с течением времени может быть объяснена с позиций теории полиэлектролитных комплексов. Постепенное взаимодействие противоположно заряженных макро-

молекул полиэлектролитов приводит к образованию межмолекулярных ионных связей, что сопровождается уплотнением поверхностного слоя частиц. Присутствие эмульгаторов выступает дополнительным стабилизирующим фактором: они способствуют более равномерной адсорбции полиэлектролитов и формированию плотной, упорядоченной оболочки, препятствующей коалесценции и агрегации частиц [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология синтеза микрокапсул, содержащих в ядре эфирное масло розмарина. Подобрана система биосовместимых поверхностно-

активных веществ, обеспечивающих создание устойчивой дисперсии микрокапсул, сформированных на основе серицина и гуаровой камеди, что обуславливает возможность применения их в медицине.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2026-0004.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The work was carried out within the framework of the State Assignment for Research, topic № FZZW-2026-0004.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peng X., Umer M., Pervez M.N., Hasan K.F., Habib M.A., Islam M.S., Cai Y. // *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2023. V. 7. 100349. DOI: 10.1016/j.csee.2023.100349.
2. Chen C., Feng J., Li J., Guo Y., Shi X., Peng H. // *Chem. Rev.* 2022. V. 123. N 2. P. 613-662. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00192.
3. Attia N.F., Ahmed H.E., El Ebissy A.A., El Ashery S.E. // *Prog. Org. Coat.* 2022. V. 166. 106822. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2022.106822.
4. Omerogullari Basyigit, Z., Coskun H. // *Fibers and Polymers.* 2024. V. 25. N 5. P. 1789-1804. DOI: 10.1007/s12221-024-00553-0.
5. Коломейцева Э.А., Дымникова Н.С., Ерохина Е.В. // *Рос. хим. ж.* 2026. Т. 70. № 1. С. 96-103. DOI: 10.6060/rcj.2026701.11.
6. Liu Y., Fei B., Xin J.H. // *Coatings.* 2023. V. 13. N 9. 1580. DOI: 10.3390/coatings13091580.
7. Ding Q., Liu J.L., Liu Y.Y., He W.Z., Zhang L., Xu Y.J. // *Cellulose.* 2024. V. 31. N 10. P. 6551-6564. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4034782/v1.
8. Singh P., Ali S.W., Kale R.D. // *ACS omega.* 2023. V. 8. N 9. P. 8159-8171. DOI:10.1021/acsomega.2c06343.
9. Bolanos-Cardet J., Ruiz-Molina D., Yuste V.J., Suárez-García S. // *Chem. Eng. J.* 2024. V. 481. 148674. DOI: 10.1016/j.cej.2024.148674.
10. Zheng H., Li X., Liu L., Bai C., Liu B., Liao H., He J. // *Compos. Commun.* 2022. V. 36. 101388. DOI: 10.1016/j.coco.2022.101388.
11. Mehta S., MacGillivray M. // *Textiles.* 2022. V. 2. N 1. P. 29-49. DOI: 10.3390/textiles2010003.
12. Naz S., Javaid S., Rehman S.U., Razzaq H. // *Mat. Adv.* 2025. V. 6. N 8. P. 2460-2476. DOI: 10.1039/D4MA01285B.
13. Natarajan G., Rajan T.P., Das S. // *J. Nat. Fibers.* 2022. V. 19. N 11. P. 4350-4367. DOI: 10.1080/15440478.2020.1857895.
14. Muhoza B., Xia S., Wang X., Zhang X., Li Y., Zhang S. // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2022. V. 62. N 5. P. 1363-1382. DOI: 10.1080/10408398.2020.1843132.
15. Marey A.G., Allam L.N., Abd-Elal L.S., El-Wakil A.N., Hassabo A.G. // *J. Text. Color. Polym. Sci.* 2025. V. 22. N 2. P. 13-29. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259193.1287.
16. Петрушина В.Ю., Шоева А.Д., Ерзунов К.А., Яминзода З.А., Малыгина А.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2025. Т. 69. № 4. С. 59-63. DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.

REFERENCES

1. Peng X., Umer M., Pervez M.N., Hasan K.F., Habib M.A., Islam M.S., Cai Y. // *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2023. V. 7. 100349. DOI: 10.1016/j.csee.2023.100349.
2. Chen C., Feng J., Li J., Guo Y., Shi X., Peng H. // *Chem. Rev.* 2022. V. 123. N 2. P. 613-662. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00192.
3. Attia N.F., Ahmed H.E., El Ebissy A.A., El Ashery S.E. // *Prog. Org. Coat.* 2022. V. 166. 106822. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2022.106822.
4. Omerogullari Basyigit, Z., Coskun H. // *Fibers and Polymers.* 2024. V. 25. N 5. P. 1789-1804. DOI: 10.1007/s12221-024-00553-0.
5. Kolomeytseva E.A., Dymnikova N.S., Erokhina E.V. // *Ros. Khim. Zh.* 2026. V. 70. N 1. P. 96-103. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2026701.11.
6. Liu Y., Fei B., Xin J.H. // *Coatings.* 2023. V. 13. N 9. 1580. DOI: 10.3390/coatings13091580.
7. Ding Q., Liu J.L., Liu Y.Y., He W.Z., Zhang L., Xu Y.J. // *Cellulose.* 2024. V. 31. N 10. P. 6551-6564. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4034782/v1.
8. Singh P., Ali S.W., Kale R.D. // *ACS omega.* 2023. V. 8. N 9. P. 8159-8171. DOI:10.1021/acsomega.2c06343.
9. Bolanos-Cardet J., Ruiz-Molina D., Yuste V.J., Suárez-García S. // *Chem. Eng. J.* 2024. V. 481. 148674. DOI: 10.1016/j.cej.2024.148674.
10. Zheng H., Li X., Liu L., Bai C., Liu B., Liao H., He J. // *Compos. Commun.* 2022. V. 36. 101388. DOI: 10.1016/j.coco.2022.101388.
11. Mehta S., MacGillivray M. // *Textiles.* 2022. V. 2. N 1. P. 29-49. DOI: 10.3390/textiles2010003.
12. Naz S., Javaid S., Rehman S.U., Razzaq H. // *Mat. Adv.* 2025. V. 6. N 8. P. 2460-2476. DOI: 10.1039/D4MA01285B.
13. Natarajan G., Rajan T.P., Das S. // *J. Nat. Fibers.* 2022. V. 19. N 11. P. 4350-4367. DOI: 10.1080/15440478.2020.1857895.
14. Muhoza B., Xia S., Wang X., Zhang X., Li Y., Zhang S. // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2022. V. 62. N 5. P. 1363-1382. DOI: 10.1080/10408398.2020.1843132.
15. Marey A.G., Allam L.N., Abd-Elal L.S., El-Wakil A.N., Hassabo A.G. // *J. Text. Color. Polym. Sci.* 2025. V. 22. N 2. P. 13-29. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259193.1287.
16. Petrushina V.Yu., Shoeva A.D., Erzunov K.A., Yaminzoda Z.A., Malygina A.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. C. 59-63. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.

17. Гришина (Петрушина) В.Ю., Трегубов А.В., Ерзунов К.А., Козлова О.В., Одинцова О.И. // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2024. № 3 (411). С. 26-39. DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_26.
18. Агоева Э.А., Хаширова С.Ю. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. № 3. С. 6-19. DOI: 10.6060/ivkkt.20256803.7083.
19. Aad R., Dragojlov I., Vesentini S. // *J. Funct. Biomater.* 2024. V. 15. N 11. 322. DOI:10.3390/jfb15110322.
20. Apiwattanasiri P., Charoen R., Rittisak S., Phattayakorn K., Jantrasee S., Savedboworn W. // *Food Bioscience*. 2022. V. 46. 101576. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101576.
21. Гришина В.Ю., Шоева А.Д., Ерзунов К.А., Яминзода З.А., Малыгина А.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2025. Т. 69. № 4. С. 59-63. DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.
22. Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Смирнова С.В., Липина А.А., Петрова Л.С., Ерзунов К.А., Константинова З.А., Зимнуров А.Р., Быков Ф.А., Мельников А.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. № 7. С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
17. Grishina (Petrushina) V.Yu., Tregubov A.V., Erzunov K.A., Kozlova O.V., Odintsova O.I. // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2024. N 3 (411). P. 26-39. (in Russian). DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_26.
18. Agoeva E.A., Khashirova S.Yu. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2025. V. 68. N 3. P. 6-19. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20256803.7083.
19. Aad R., Dragojlov I., Vesentini S. // *J. Funct. Biomater.* 2024. V. 15. N 11. 322. DOI:10.3390/jfb15110322.
20. Apiwattanasiri P., Charoen R., Rittisak S., Phattayakorn K., Jantrasee S., Savedboworn W. // *Food Bioscience*. 2022. V. 46. 101576. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101576.
21. Grishina V.Yu., Shoeva A.D., Erzunov K.A., Yaminzoda Z.A., Malygina A.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 59-63. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.
22. Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Kozlova O.V., Smirnova S.V., Lipina A.A., Petrova L.S., Erzunov K.A., Konstantinova Z.A., Zimnurov A.R., Bykov F.A., Melnikov A.G. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2023. V. 66. N 7. P. 173-184. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.

Поступила в редакцию 23.03.2026
Принята к опубликованию 17.05.2026

Received 23.03.2026
Accepted 17.05.2026