

ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ИММОБИЛИЗАЦИИ МИКРОКАПСУЛИРОВАННОГО КОКОСОВОГО МАСЛА

А.Ф. Алехина, К.А. Ерзунов, О.И. Одинцова, Л.С. Петрова

Кафедра химической технологии текстильных материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр-т, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: anast.aleshina2016@yandex.ru, erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru, ludmila_odintsova@mail.ru

Разработан экологически безопасный способ получения целлюлозного текстильного материала с терморегулирующими свойствами. Он основан на модификации ткани микрокапсулами, содержащими в ядре кокосовое масло – вещество с фазовым переходом (ВФП). Кокосовое масло характеризуется высокой теплоемкостью, фазовый переход осуществляется в температурном диапазоне физиологически комфортном для организма человека, масло биоразлагаемо, нетоксично. Предложен способ микрокапсулирования с использованием безопасных текстильно-вспомогательных веществ (ТВВ) глиоксаля и мочевины. Глиоксаль, широко применяемый в различных видах заключительной отделки текстильных материалов, является не менее реакционно способным в сравнении с формальдегидом за счет двух карбонильных групп в структуре, способен взаимодействовать с мочевиной до образования олигомеров с различными молярной массой и свойствами. Подобрано оптимальное соотношение глиоксаля и мочевины для формирования оболочки микрокапсул на основе кокосового масла. Оптимизированы температурно-временные параметры синтеза устойчивой дисперсии, содержащей микрокапсулы. Оценены стабильность, агрегативная устойчивость микрокапсул во времени посредством измерения размера частиц методом динамического рассеяния света. Морфологические характеристики оболочек микрокапсул были изучены с помощью микроскопа МИКМЕД-6. Нанесение микрокапсулированного кокосового масла на волокнообразующий полимер осуществляли методом пропитки текстильного материала в дисперсии. С целью повышения степени фиксации микрокапсул на волокне обработанные хлопчатобумажные образцы термофиксировали при $T=150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Химизм взаимодействия реакционных групп оболочки микрокапсул на основе глиоксаля/мочевины с группами целлюлозы исследован методом ИК-Фурье спектроскопии. Разработанная технология является перспективным способом для производства целлюлозных текстильных материалов с повышенной терморегулирующей способностью.

Ключевые слова: вещества с фазовым переходом (ВФП), микрокапсулирование, оболочкоформирующие агенты, текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ), терморегулирующие свойства

IMPROVING THE THERMAL REGULATION PROPERTIES OF TEXTILES BY INCORPORATING MICROENCAPSULATED COCONUT OIL

A.F. Alekhina, K.A. Erzunov, O.I. Odintsova, L.S. Petrova

Department of Chemical Technology of Textile Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetyevo Ave., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation

E-mail: anast.aleshina2016@yandex.ru, erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru, ludmila_odintsova@mail.ru

An environmentally method for producing a cellulose textile material with thermoregulatory properties has been developed. It is based on modifying the fabric with microcapsules containing coconut oil, a phase transition substance (PTS), in the core. Coconut oil is characterized by high heat capacity, the phase transition occurs in the temperature range physiologically comfortable for the human body, the oil is biodegradable and non-toxic. A method for microencapsulation using safe textile auxiliary substances (TAS) glyoxal and urea is proposed. Glyoxal, widely used in

various types of final finishing of textile materials, is no less reactive than formaldehyde due to two carbonyl groups in the structure, and is capable of interacting with urea to form oligomers with different molar masses and properties. The optimal ratio of glyoxal and urea was selected to form a shell of microcapsules based on coconut oil. The temperature and time parameters for the synthesis of a stable dispersion containing microcapsules were optimized. The stability and aggregation stability of microcapsules over time were estimated by measuring the particle size using the dynamic light scattering method. The morphological characteristics of the microcapsule shells were studied using a MIKMED-6 microscope. Application of microencapsulated coconut oil on a fiber-forming polymer was carried out by impregnating the textile material in the dispersion. In order to increase the strength of fixing the microcapsules to the fiber, the treated cotton samples were heat-fixed at $T = 150$ °C. The interaction chemistry of the glyoxal/urea-based microcapsule shell reaction groups with cellulose groups was studied using IR Fourier spectroscopy. The developed technology is a promising method for producing cellulose textile materials with increased thermoregulatory capacity.

Keywords: substances with phase transition (Phase Change Materials/PCM), microcapsulation, shell-forming agents, textile-auxiliary substances (TAS), thermoregulating properties

Для цитирования:

Алехина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Петрова Л.С. Повышение терморегулирующей способности текстильных материалов путем иммобилизации микрокапсулированного кокосового масла. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 4. С. 35–40. DOI: 10.6060/rcj.2025694.5.

For citation:

Alekhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I., Petrova L.S. Improving the thermal regulation properties of textiles by incorporating microencapsulated coconut oil. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 35–40. DOI: 10.6060/rcj.2025694.5.

ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии, характеризующиеся способностью сохранять ее длительный период времени, приобретают ключевое значение в современных технологиях производства строительных материалов [1], различной электроники [2], солнечных панелей [3]. Особый интерес такие источники представляют в разработке текстильных материалов, способных аккумулировать и регулировать тепловую энергию. Как материалы, способные к осуществлению многократных циклов накопления и высвобождения тепловой энергии в процессах плавления и кристаллизации, вещества с фазовым переходом (ВФП) являются перспективным ресурсом для модификации текстильных материалов с целью придания терморегулирующих свойств [4, 5]. Вещества с фазовым переходом делятся на две больших группы, включающие соединения органической и неорганической природы [6, 7]. Органические ВФП, такие как классы *n*-алканов с длинной линейной цепью, жирные кислоты, спирты, масла, обладают превосходящими характеристиками в сравнении с неорганическими благодаря оптимальному сочетанию термодинамических характеристик, химической стабильности, инертности, хорошей совместимости с волокнообразующими полимерами [8]. Одним из

перспективных ВФП органической природы является кокосовое масло, демонстрирующее рекордные значения скрытой теплоемкости в диапазоне температур, соответствующем физиологически комфортному микроклимату человека [9]. С целью минимизации потерь активного агента (ВФП) при циклических процессах фазового перехода применяется технология микрокапсулирования, одновременно повышающая теплопроводность модифицированного текстильного материала [10–15].

Исследование направлено на получение устойчивой дисперсии со стабильными микрокапсулами на основе кокосового масла в качестве активного вещества для придания терморегулирующих свойств целлюлозному текстильному материалу.

Для капсулирования кокосового масла предложено сформировать вокруг него полимерную оболочку, полученную по реакции поликонденсации таких текстильно-вспомогательных веществ, как глиоксаль и мочеви́на.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и реактивы. Кокосовое масло (99%, РусХим); глиоксаль (ОСНCHO, диальдегид щавелевой кислоты, 40%, водный, «ACRROS ORGANICS»); мочеви́на (CH₄N₂O, диамид угольной кислоты, ООО «ХИМАКТИВ»); Тексоклэн МГФ (мягчитель на основе солей жирных кислот,

ООО «Элхим»); эмульгатор Неонол АФ 9/10 (100%, НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ); Карбоксипав АФ 6.90 (карбоксилаты оксиэтилированных алкил-фенолов, 90%, водный); лимонная кислота ($\text{HOOC-CH}_2\text{-C(ONHCOOH-CH}_2\text{COOH}$, 50%, РусХим).

Синтез микрокапсул с кокосовым маслом включал несколько этапов: синтез форполимера на основе глиоксали и мочевины с различным соотношением компонентов, эмульгирование кокосового масла с использованием комбинации поверхностно-активных веществ, включающей анионоактивный Карбоксипав 6.90 и неионогенный Неонол АФ 9.10, формирование полимерной оболочки микрокапсулы на основе готового форполимера вокруг эмульгированных частиц кокосового масла. Предложено использование раствора лимонной кислоты в качестве катализатора реакции поликонденсации глиоксали и мочевины. Применение катализатора такого типа способствует протонированию карбонильных групп глиоксали, увеличивая его электрофильность и реакционную способность, а также активирует нуклеофильные центры мочевины, облегчая их атаку на карбонильные группы глиоксали [12, 13].

Методы исследования. Кинетическая вязкость форполимеров на основе глиоксали и мочевины оценена капиллярным методом по времени истечения полученного состава под действием силы тяжести через вискозиметр Оствальда.

Размеры синтезированных микрокапсул определены методом динамического рассеяния на приборе Photocor Compact-Z. Изучение морфологии поверхности синтезированных частиц осуществляли на электронном микроскопе МИКМЕД-6.

Нанесение микрокапсул на целлюлозный материал проведено посредством пропитки в готовой дисперсии, содержащей микрокапсулы на основе кокосового масла.

Характер взаимодействия синтезированных микрокапсул с волокнистым материалом оценен методом ИК-Фурье спектроскопии на инфракрасном спектрометре Tensor 27 с приставкой диффузионного отражения Harrick.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Взаимодействие глиоксали и мочевины осуществляется по реакции поликонденсации и может протекать до образования олигомеров различных свойств и молекулярной массы (рис. 1).

Образовавшийся олигомер демонстрирует хорошую растворимость в воде, а при высыхании формирует прозрачную пленку. Состав олигомера

варьируется в зависимости от соотношения исходных мономеров [13]. Для получения микрокапсул с прочной оболочкой осуществлен подбор оптимальных соотношений глиоксали и мочевины и оценена кинетическая вязкость полученных олигомеров (табл. 1).

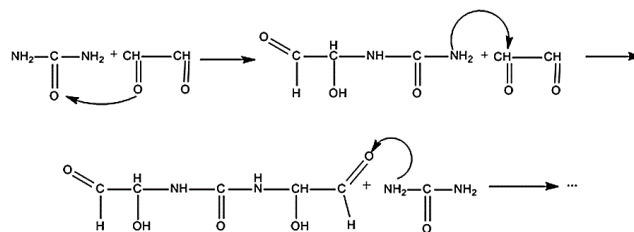


Рис. 1. Схема реакции поликонденсации глиоксали и мочевины [13]

Fig. 1. Scheme of the polycondensation reaction of glyoxal and urea [13]

Таблица 1

Влияние соотношения глиоксали/мочевины и температуры синтеза на кинетическую вязкость форполимеров

Table 1. Effect of glyoxal/urea ratio and synthesis temperature on the kinetic viscosity of prepolymers

Соотношения глиоксали/мочевины (масс. доли)	τ , мин	Кинетическая вязкость, с	
		$T_{\text{синтеза}}$ 60 °C	$T_{\text{синтеза}}$ 80 °C
2:1	60	59,23	132,41
3:1		53,45	47,77
1:1		30,73	48,55
1:1,5		33,57	Пастообразная система
1:0,07		927,95	941,46

Избыток мочевины в реакции поликонденсации с глиоксалем способствует формированию олигомеров, характеризующихся повышенной растворимостью и склонностью к образованию нежелательных для системы агломератов, что усложняет их очистку и последующие этапы синтеза микрокапсул. Кинетическая вязкость олигомеров № 1, № 2, № 5, синтезированных при температуре 60 °C, превышает значение кинетической вязкости олигомеров с большим содержанием мочевины в составе. Синтез при 80 °C обеспечивает рост кинетической вязкости всех олигомеров.

Введение минимального количества раствора лимонной кислоты (pH 3-3,5) в составы № 3 и № 4 приводило к их трансформации в водорас-

творимые пастообразные системы, кинетическую вязкость которых оценить затруднительно. Использование катализатора в синтезе олигомеров № 1, № 2 и № 5 способствовало повышению значений кинетической вязкости в два раза. Хотя форполимер № 5 обладает свойствами, теоретически подходящими для микрокапсулирования, его практическое применение ограничивается чрезмерно высокой вязкостью. Данный эффект для форполимеров № 1 и № 2 можно рассматривать как благоприятный фактор, способствующий созданию более прочных оболочек микрокапсул.



Рис. 2. Фотографии микрокапсул на основе кокосового масла с оболочкой: А) глиоксаль/мочевина 3:1 (№ 2) Б) глиоксаль/мочевина 2:1 (№ 1)

Fig. 2. Photographs of coconut oil-based microcapsules with a shell: А) glyoxal/urea 3:1 (№ 2) В) glyoxal/urea 2:1 (№ 1)

Применение форполимеров № 2 и № 1 в качестве оболочки позволяет получать микрокапсулы сферической формы. В случае использования форполимера состава № 2 получены микрокапсулы с плотной оболочкой, как показано на рис. 1(А). Средний размер частиц в свежеприготовленной дисперсии был разнородным. Основная масса синтезированных капсул имела размер до 299 нм, а также присутствовало некоторое количество с размером 155 нм и 63 нм. Разнородность размеров синтезированных микрокапсул может быть обусловлена вариацией диаметра капель масла при эмульгировании и неравномерной толщиной полимерной оболочки, формируемой в ходе поликонденсации.

Средний размер частиц с оболочкой на основе глиоксала/мочевины в соотношении 2:1 (состав № 1) в свежеприготовленной дисперсии не превышал 12,5 нм, который практически не изменялся в течение недели с момента приготовления. Таким образом, оптимизация соотношения оболочкоформирующих агентов обеспечивает целенаправленное регулирование размерных характеристик микрокапсул. Для модификации текстильного материала выбрана дисперсия, содержащая микрокапсулы с оболочкой состава № 1, что обусловлено минимальным размером частиц.

Иммобилизация микрокапсулированного кокосового масла на целлюлозный текстильный материал. Предложенный способ иммобилизации микрокапсул включал пропитку образцов хлопчатобумажного текстильного материала в готовой дисперсии при $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 мин, сушку до полного высыхания на воздухе и термофиксацию при $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Гипотетически, в процессе термофиксации образцов с нанесенными микрокапсулами альдегидные группы сформированной оболочки могут реагировать с $-\text{OH}$ группами целлюлозы, обеспечивая химическое закрепление капсул на поверхности ткани. Можно предположить, что образование ацетальных мостиков между целлюлозой и оболочкой микрокапсул в значительной степени способствует их прочной фиксации.

Для доказательства выдвинутой гипотезы о закреплении микрокапсул на волокнообразующем полимере за счет формирования химических связей и идентификации кокосового масла на поверхности хлопчатобумажного текстильного материала проведен сравнительный анализ ИК спектров необработанного образца и образцов, пропитанных разными составами (рис. 3).

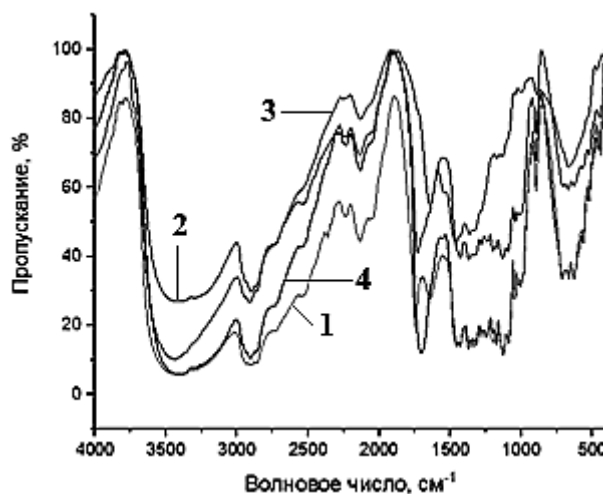


Рис. 3. ИК спектры текстильных образцов: 1 – пропитанного чистым кокосовым маслом; 2 – необработанного образца; 3 – пропитанного форполимером на основе глиоксала/мочевины 2:1; 4 – пропитанного дисперсией, содержащей микрокапсулы на основе кокосового масла

Fig. 3. IR spectra for samples: 1 – impregnated with pure coconut oil; 2 – untreated sample; 3 – impregnated with a prepolymer based on glyoxal/urea 2:1; 4 – impregnated with a dispersion containing microcapsules based on coconut oil

Пики на спектрах, находящиеся в диапазоне от $1740 - 1650\text{ cm}^{-1}$ (1740 cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$) – триглицериды, $2850 - 2950\text{ cm}^{-1}$ ($\text{C}-\text{H}$) – алифатические цепи жирных кислот в кокосовом масле), позволяют судить о

наличии кокосового масла на ткани, так как данный пик указывает на карбоксильную группу кислот, входящих в его состав. Для необработанного образца такого пика не наблюдается (рис. 3, образец 2). ИК спектр образца термофиксированной целлюлозной ткани с нанесенным составом глиоксаль/мочевина характеризуется широкой полосой поглощения $3200\text{--}3400\text{ см}^{-1}$, соответствующей валентным колебаниям N–H связей амидных групп мочевины, пиками при $1650\text{--}1680\text{ см}^{-1}$ (карбонильные колебания C=O карбамидных структур) и полосой $1115\text{--}1120\text{ см}^{-1}$, что может указывать на образование ацетальных связей (C–O–C) между форполимером и гидроксильными группами целлюлозы (рис. 3, образец 3). Для образца 4 с нанесенными микрокапсулами наблюдается сочетание пиков, характерных для образцов 1 и 3, причем ярко выражены пики характерные для образования ацетальных связей с целлюлозой волокна. Изменения в интенсивности или смещения пиков объясняются взаимодействием компонентов как между собой, так и с волокном текстильного материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена технология получения стабильной дисперсии с однородными микрокапсулами, со-

держащими кокосовое масло, устойчивыми к агрегации в течение длительного времени. Подобранные эффективные кислотные катализаторы для протекания реакции поликонденсации оболочкоформирующих компонентов. Оптимизированы температурно-временные параметры получения дисперсии. Использование мочевины и глиоксала в качестве экологически безопасных оболочкообразующих агентов представляет собой перспективный подход для создания частиц с прочной оболочкой, формируемой по реакции поликонденсации.

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

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-20207 с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ.

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

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-23-207. The study was carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment of the ISUCT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ismail A., Wang G., Salami B.A., Oyedele L.O. // *Construction and Building Materials*. 2023. V. 401. P. 132877. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132877.
2. Lawag R.A., Ali H.M. // *Journal of Energy Storage*. 2022. V. 55. P. 105602. DOI: 10.1016/j.est.2022.105602.
3. Maghrabie H.M., Elsaid K., Sayed E.T., Radwan A. // *Journal of Energy Storage*. 2022. V. 48. P. 103937. DOI: 10.1016/j.est.2021.103937.
4. Zare M., Mikkonen K.S. // *Advanced Functional Materials*. 2023. V. 33. N 12. P. 2213455. DOI: 10.1002/adfm.202213455.
5. Fathallah A.I., El-Sadek H., Youssef B.Y. // *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*. 2023. V. 20. N 1. P. 113-123. DOI: 10.21608/jtcps.2023.187989.1161.
6. Zhao Y., Zhang X., Hua W. // *Journal of Molecular Liquids*. 2021. V. 336. P. 115923. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.115923.
7. Man X., Lu H., Xu Q., Wang C., Ling Z. // *Journal of Energy Storage*. 2023. V. 72. P. 108699. DOI: 10.1016/j.est.2023.108699.
8. Fathallah A.I., Youssef B.Y., El-sadek H. // *Egyptian Journal of Chemistry*. 2023. V. 66. N 4. P. 167-177. DOI: 10.21608/ejchem.2023.188010.7468.
9. Saraç E.G., Öner E., Kahraman M.V. // *Journal of Industrial Textiles*. 2022. V. 51. N 2_suppl. P. 1952S-1963S. DOI: 10.1177/1528083720921490.
10. Липина А.А., Петрова Л.С., Одинцова О.И., Козлова О.В., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В., Ильичева М.Д. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. № 6. С. 97-104. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.

REFERENCES

1. Ismail A., Wang G., Salami B.A., Oyedele L.O. // *Construction and Building Materials*. 2023. V. 401. P. 132877. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.132877.
2. Lawag R.A., Ali H.M. // *Journal of Energy Storage*. 2022. V. 55. P. 105602. DOI: 10.1016/j.est.2022.105602.
3. Maghrabie H.M., Elsaid K., Sayed E.T., Radwan A. // *Journal of Energy Storage*. 2022. V. 48. P. 103937. DOI: 10.1016/j.est.2021.103937.
4. Zare M., Mikkonen K.S. // *Advanced Functional Materials*. 2023. V. 33. N 12. P. 2213455. DOI: 10.1002/adfm.202213455.
5. Fathallah A.I., El-Sadek H., Youssef B.Y. // *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*. 2023. V. 20. N 1. P. 113-123. DOI: 10.21608/jtcps.2023.187989.1161.
6. Zhao Y., Zhang X., Hua W. // *Journal of Molecular Liquids*. 2021. V. 336. P. 115923. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.115923.
7. Man X., Lu H., Xu Q., Wang C., Ling Z. // *Journal of Energy Storage*. 2023. V. 72. P. 108699. DOI: 10.1016/j.est.2023.108699.
8. Fathallah A.I., Youssef B.Y., El-sadek H. // *Egyptian Journal of Chemistry*. 2023. V. 66. N 4. P. 167-177. DOI: 10.21608/ejchem.2023.188010.7468.
9. Saraç E.G., Öner E., Kahraman M.V. // *Journal of Industrial Textiles*. 2022. V. 51. N 2_suppl. P. 1952S-1963S. DOI: 10.1177/1528083720921490.
10. Lipina A.A., Petrova L.S., Odintsova O.I., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Ilyicheva M.D. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 97-104 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.

11. 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.
12. Одинцова О.И., Липина А.А. // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2022. Т. 3. № 1. С. 58-49. DOI: 10.52957/27821900_2022_01_58.
13. Xu S., Li Z., Jiang X., Zhang J., Xia Y., Lei H., Du G., Deng S. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025. V. 707. P. 135833. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2024.135833.
14. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. № 2. С. 3-12. DOI: 10.6060/Rcj.2024682.1.
15. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. № 4. С. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
11. Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Kozlova O.V., Smirnova S.V., Lipina A.A., Petrova L.S., Erzunov K.A., Konstantinova Z.A., Zimmurov A.R., Bykov F.A., Melnikov A.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 173-184. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
12. Odintsova O.I., Lipina A.A. // *From chemistry to technology step by step*. 2022. V. 3. N 1. P. 58-49. (in Russian). DOI: 10.52957/27821900_2022_01_58.
13. Xu S., Li Z., Jiang X., Zhang J., Xia Y., Lei H., Du G., Deng S. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2025. V. 707. P. 135833. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2024.135833.
14. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Kusnetsov O.Yu. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 2. P. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
15. Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N4. P. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.

Поступила в редакцию 09.07.2025
Принята к опубликованию 13.08.2025

Received 09.07.2025
Accepted 13.08.2025