

МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЕ ПАРФЮМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АРОМАТИЗИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Ф. Алёхина¹, А.Д. Шоева², З.А. Яминзода², К.А. Ерзунов¹, О.И. Одинцова¹, С.В. Королев³

¹Кафедра химической технологии текстильных материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр-т, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

²Технологический университет Таджикистана, ул. Н. Карабаева, 63/3, Душанбе, Таджикистан, 734055

³ООО «Специальный текстиль», Советская ул., 12а, Шуя, Ивановская обл., Российская Федерация, 155900

E-mail: anast.alekhina2016@yandex.ru, azizashoeva6@gmail.com, zyaminova@inbox.ru, info@smart-textile.ru, erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru

Все больший интерес для потребителей представляют текстильные материалы с ароматическими свойствами, особенно в сегментах премиальной одежды, домашнего текстиля, средств личной гигиены. Традиционные методы нанесения парфюмерных композиций, включая продукты даже известных брендов, не обеспечивают устойчивого ароматического эффекта вследствие быстрой десорбции летучих компонентов. Для решения данной проблемы применена технология микрокапсулирования, позволяющая включать ароматические вещества в полимерную оболочку, обеспечивающую контролируемое высвобождение активных компонентов при механическом воздействии, в частности, при контакте с кожей человека. Полученная дисперсия, содержащая синтезированные капсулы с парфюмерной композицией в ядре, характеризуется высокой коллоидной стабильностью в течение длительного времени без образования агрегатов. Обработка текстильных материалов ароматическим составом может быть реализована на предприятиях с использованием классического аппаратного оформления для отделки текстиля. Определены оптимальные температурно-временные параметры нанесения капсул на ткань. Предложен способ закрепления капсул на волокнообразующем полимере с применением синтетических полиэлектролитов. Дополнительным преимуществом является возможность реализации упрощенной модификации технологии для условий малых предприятий или даже бытового применения – с использованием ручного распыления и фиксации утюгом при контролируемой температуре. Предложенная технология рекомендуется для производства разнообразных текстильных изделий с функцией пролонгированной ароматизации: деловых и повседневных костюмов, домашнего текстиля (постельное белье, полотенца), мебельных и декоративных тканей (обивка мягкой мебели, шторы, тюль), а также изделий специального назначения, например, медицинских простыней с ароматерапевтическими свойствами. Высокая адаптивность подхода позволяет варьировать состав парфюмерной композиции в зависимости от функционального назначения текстильного изделия и требований целевых групп потребителей, что формирует значительное преимущество на рынке «умных» материалов.

Ключевые слова: микрокапсулирование, ароматизация тканей, активное вещество, ароматические масла, оболочкоформирующие вещества, полиэлектролиты

Для цитирования:

Алёхина А.Ф., Шоева А.Д., Яминзода З.А., Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Королев С.В. Микрокапсулирование парфюмерных композиций для формирования ароматизирующей способности текстильных материалов. *Рос. хим. ж.* (Ж. Рос. хим. об-ва). 2026. Т. LXX. № 2. С. 69–74. DOI: 10.6060/rcj.2026702.9.

For citation:

Alekhina A.F., Shoeva A.D., Yaminzoda Z.A., Erzunov K.A., Odintsova O.I., Korolev S.V. Microencapsulation of perfume compositions for imparting aromatizing functionality to textile materials. *Ros. Khim. Zh.* 2026. V. 70. N 2. P. 69–74. DOI: 10.6060/rcj.2026702.9.

MICROENCAPSULATION OF PERFUME COMPOSITIONS FOR IMPARTING AROMATIZING FUNCTIONALITY TO TEXTILE MATERIALS

A.F. Alekhina¹, A.D. Shoeva², Z.A. Yaminzoda², K.A. Erzunov¹, O.I. Odintsova¹, S.V. Korolev³

¹Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation

²Technological University of Tajikistan (TUT), N. Karabaev St., 63/3, Dushanbe, 734055, Tajikistan

³ООО "Specialtextiles", Sovetskaya St., 12a, Shuya, Ivanovo region, 155900, Russian Federation

E-mail: anast.alekhina2016@yandex.ru, azizashoeva6@gmail.com, zyaminova@inbox.ru, info@smart-textile.ru, erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru

Consumer interest in textile materials with aromatic properties is steadily growing, particularly in the segments of premium apparel, home textiles, and personal hygiene products. Conventional methods of applying fragrance compositions including products from well known brand-fail to provide a durable aromatic effect due to the rapid desorption of volatile components. To address this limitation, microencapsulation technology has been employed, enabling the entrapment of aromatic substances within a polymeric shell that ensures controlled release of active ingredients upon mechanical stimulation, especially during skin contact. The synthesized dispersion containing microcapsules with a fragrance core demonstrates high colloidal stability over extended periods without aggregate formation. Textile treatment with this dispersion can be implemented at manufacturing facilities using conventional equipment for textile finishing. Optimal temperature-time parameters for capsule deposition onto fabrics have been established, and a fixation method employing synthetic polyelectrolytes has been proposed to enhance capsule adhesion to fiber forming polymers. An additional advantage is the possibility of adapting the technology for small scale enterprises or even domestic use via manual spraying followed by heat setting with a household iron at controlled temperatures. The developed technology is recommended for producing a wide range of textiles with sustained fragrance release functionality, including business and casual suits, home textiles (bed linen, towels), upholstery and decorative fabrics (furniture covers, curtains, voile), as well as specialized items such as aromatherapy enhanced medical bed sheets. The high adaptability of the approach allows for tailoring the fragrance composition according to the functional purpose of the textile product and the requirements of the target consumer segment, thereby providing a significant competitive advantage in the market of smart functional materials.

Keywords: microcapsulation, aromatization of tissues, active substance, aromatic oils, shell-forming substances, polyelectrolytes

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время промышленность, производящая ароматизаторы, представляет собой многопрофильную отрасль. Она охватывает разработку и применение ароматических веществ в самых различных секторах экономики, включая пищевые ароматизаторы, вкусовые добавки, парфюмерные концентраты, отдушки для люксовых косметических средств, бытовой химии различного назначения (стиральные средства, кондиционеры, средства для ухода за поверхностями в доме), компоненты для функциональных материалов (полимерные изделия, бумага, текстиль). Ароматические вещества могут быть как натурального происхождения, так и синтетического [1]. К натуральным относится широ-

кий класс эфирных масел, выделяемых из растительного сырья (листья, корни, цедра, цветы), некоторые секреты животного происхождения. Синтетические ароматизаторы кроме основных компонентов включают стабилизирующие агенты.

Ограниченная устойчивость ароматического эффекта традиционных парфюмерных композиций, отдушек обусловлена высокой летучестью их основных компонентов, таких как эфирные масла, синтетические ароматизаторы. Различная скорость испарения зависит от химических свойств веществ, коэффициента диффузии. Инновационным решением данной проблемы является технология микрокапсулирования ароматических веществ, которая наиболее активно применяется в пищевой и фарма-

цевтической промышленности. В процессе капсулирования формируется специальная оболочка, обеспечивающая пролонгированное высвобождение активного вещества из ядра капсулы и защищающая его от внешних физико-химических воздействий [2-6].

Технология микрокапсулирования внедряется и в текстильную промышленность, где применение препаратов с микро- и нанокапсулами на основе различных активных веществ позволяет получать «умные» текстильные материалы с антибактериальной, огнезащитной, терморегулирующей способностями, с акрицидной отделкой против кровососущих насекомых и клещей [7-9]. Кроме того, формируемая оболочка капсул минимизирует возможность прямого контакта кожи человека с ядром капсулы, предотвращая возможность возникновения различных аллергических реакций [10, 11].

На основании литературных данных, основными традиционными оболочкоформирующими агентами для капсулирования являются формальдегид, меламин и их производные, способные взаимодействовать по реакции смолообразования. Свободный формальдегид, присутствующий в синтезируемой дисперсии с нанокапсулами как непрореагировавший остаток или образующийся в процессе эксплуатации текстильного материала с нанесенными капсулами вследствие гидролитической дестабилизации оболочки, характеризуется высоким токсикологическим действием, опасен для здоровья человека и оказывает негативное воздействие на окружающую среду [12-14].

Эффективной альтернативой в качестве оболочкообразующих агентов выступают синтетические полиэлектролиты, содержащие в своей структуре активные разноименно заряженные функциональные группы. Формирование оболочки капсул на основе таких препаратов осуществляется по механизму электростатической самосборки, в случае которой происходит комплексообразование за счет взаимодействия противоположно заряженных групп полиэлектролитов (layer-by-layer) [15-20]. Синтетические полиэлектролиты широко применяются в фармацевтической и пищевой промышленности в качестве вспомогательных веществ, их безопасность для здоровья человека подтверждена многочисленными токсикологическими исследованиями и регламентирована международными стандартами [21-23].

Цель исследования заключалась в разработке экологически безопасной технологии ароматической отделки текстильных материалов путем микрокапсулирования парфюмерных композиций в оболочку на основе синтетических полиэлектролитов, обеспечивающую пролонгированный ароматический эффект.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Материалы и реактивы. Отдушки для свечей (страна-изготовитель Китай); парфюмерные ароматические масла (ООО «Yussa», Россия); эмульгатор Неонол АФ 9/10 (100%, НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ); Карбоксипав 6.90 (карбоксилаты оксиэтилированных алкилфенолов, 90%, ООО НПО «НИИПАВ», г. Волгоград); ПОЛИДАДМАХ (ВПК-402) (100%, ООО «ЭЛХИМ», г. Электрогорск); Акремон LK-2 (100%, ООО «ЭЛХИМ», г. Электрогорск).

Синтез микрокапсул с ароматическим веществом в качестве ядра. Микрокапсулирование отдушек и парфюмированных ароматических масел проводили методом электростатической самосборки. Первым этапом следовало эмульгирование ароматической композиции в присутствии поверхностно-активных веществ неионогенного Неонол АФ 9/10 и анионного Карбоксипав 6.90. При постоянном перемешивании (500 об/мин) последовательно вводили в эмульсию катионный ВПК-402 и анионный Акремон LK-2 – полиэлектролиты для синтеза оболочки вокруг активного вещества.

Методы исследования. Определение размера капсул и оценка агрегативной устойчивости готовых дисперсий выполнены на приборе Photocor Compact-Z, работа которого основана на методе динамического рассеяния света. Морфологические характеристики синтезированных частиц исследованы с помощью микроскопа Микмед-6 с применением программного компьютерного обеспечения для получения изображений капсул.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получен ряд дисперсий с капсулами, содержащими в качестве ядра как отдушки для свечей, так и парфюмерные ароматические масла, заключенные в оболочку на основе разноименно заряженных полиэлектролитов ВПК-402 и Акремона LK-2. Предложенная методика микрокапсулирования ароматических композиций при одинаковых условиях синтеза позволяет получать частицы различных размеров (табл. 1).

Полученные микрокапсулы небольших размеров, средний размер частиц не превышает 130 нм. Несмотря на низкие значения дзета-потенциала, указывающие на нестабильность сформированной системы, дисперсии сохраняли коллоидную устойчивость в течение семи суток. В этом случае выпадения осадка не наблюдалось, а средний размер частиц незначительно увеличился, что может быть обусловлено взаимодействием с оболочкой капсул, оставшихся в дисперсии непрореагировавших групп синтетических полиэлектролитов.

Изучив химический состав дополнительно приобретенных веществ, был подобран эффективный, экологически безопасный органический растворитель – эфирное масло алоэ вера, в которое

вводили ароматические отдушки. Характеристики полученных микрокапсул с ядром алоэ вера/отдушка представлены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика синтезированных капсул с оболочкой ВПК-402/Акремон LK-2
Table 1. Characteristics of synthesized microcapsules with VPK-402/Acremon LK-2 shell

Активное вещество / ароматизатор	Средний размер частиц, нм / Свежеприготовленная дисперсия, через 7 сут.*	ζ-потенциал, мВ
Табак-ваниль	122,2 / 123,1	-2,46±0,2
Cherry	47,31 / 48,12	2,21±0,35
Black Opium	52,91 / 54,93	-1,23±0,49
Fleur Narcoticue	69,84 / 71,15	-3,22±0,55
Kirkle	53,51 / 55,29	-6,22±1,15
Tobacco Vanilla	38,79 / 43,26	-4,22±0,29
Coco mademuaseil	78,75 / 84,34	-7,22±0,76
Caramel	101,05 / 103,13	4,17±1,18
Chocolate	87,89 / 89,23	5,22±2,11
Лимонный пирог	74,33 / 78,86	2,13±2,16
Sinnsmon	61,51 / 68,54	1,22±0,69
Creamy Cokie	76,68 / 79,27	5,22±0,43
Черничный пирог	53,27 / 59,31	5,45±0,87

*Распределение по размеру частиц 100%

Таблица 2

Характеристика синтезированных капсул с ядром алоэ вера/ отдушка
Table 2. Characteristics of synthesized capsules with aloe vera core/flavor

Дисперсия	Средний размер частиц, нм / Свежеприготовленная дисперсия, через 7 суток*	Изображение микрокапсул ×100	ζ-потенциал, мВ
Алоэ вера/ Мечты о Байкале	92,85 / 97,15		-2,61±0,22
Алоэ вера/ Кожа-вишня	100,28 / 101,32		-3,196±0,11
Алоэ вера/ Кофе-Раф	87,55 / 89,87		-4,72±0,42
Алоэ вера	54,46 / 65,39		-4,01±3,02

*Распределение по размеру частиц 100 %

Средний размер синтезированных капсул в течение 7 сут. увеличился не более, чем на 20%. В среднем размер частиц приготовленных дисперсий не превышал 110 нм. Изображения, полученные с по-

мощью микроскопа Микмед-6 и специальной программы «ТоурВью», показали, что всем капсулам характерна правильная сферическая форма. Капсулы не стремятся к образованию агрегатов, что говорит о высокой устойчивости дисперсий. Следует

отметить, что средний размер частиц, ядром которых являлось алоэ вера, оставался значительно меньше, чем в случаях, когда эфирное масло алоэ вера использовалось в качестве растворителя для отдушек. Размерные характеристики капсул коррелируют с содержанием ароамасел в составе их ядра. Количественное содержание ароамасла в капсуле практически не влияет на агрегативную устойчивость дисперсии во времени. Небольшой размер частиц обеспечивает возможность наиболее равномерного распределения по площади текстильного материала.

Нанесение микрокапсул на хлопчатобумажную ткань осуществляли методом пропитки готовой дисперсией, содержащей нанокapsулы, с последующим закреплением частиц катионным полиэлектролитом (пропитка в растворе ВПК-402) после промежуточной конвективной сушки. Далее проводили контактную сушку при 130 °C в течение 120 с.

Органолептическая оценка ароматической активности обработанных текстильных материалов, проведенная группой экспертов, показала, что интенсивность аромата текстильных материалов с нанесенными капсулами без механического воздействия на них существенно ниже, чем у исходных концентратов парфюмерных композиций и отдушек. Данный эффект можно объяснить тем, что сформированная оболочка капсул и закрепление катионным полиэлектролитом ограничивают свободное высвобождение активного вещества из ядра. При легком механическом воздействии (трение по поверхности ткани) зафиксировано усиление ароматического сигнала, что, вероятнее всего, обусловлено частичным разрушением оболочки капсулы и последующим порционным выделением ароматического вещества из ее ядра.

В результате исследования, выработаны рекомендации по применению дисперсий, содержащих капсулы на основе перечисленных ароматических композиций. Капсулы с парфюмерными композициями (Кожа-вишня, Мечты о Байкале, Табак-ваниль, Cherry, Black Opium, Fleur Narcotique, Kinkle,

Coco mademuaseil) целесообразно использовать для отделки костюмных тканей и мебельных обивок, применяемых в залах торжественных церемоний, ресторанах, бизнес-холлах и отелях. Дисперсии с капсулами на основе ароматических композиций, включающих различные ароматы выпечки, ванили, корицы, кофе, рекомендуется применять для отделки текстильных материалов, используемых в качестве декоративных элементов в общественных пространствах с высокой проходимостью, например, в кафе и ресторанах быстрого обслуживания, где ароматическая стимуляция может значительно влиять на настроение клиента.

ВЫВОДЫ

Разработана технология получения дисперсий с капсулами, в качестве ядра которых предложено применение ароматических композиций различного состава. Средний размер капсул, содержащих парфюмерные ароамасла и отдушки, не превышал 150 нм. Для частиц характерна сферическая форма. Установлено, что полученные дисперсии характеризуются высокой агрегативной устойчивостью во времени. Предложен способ нанесения капсул на хлопчатобумажную ткань методом пропитки, а также методика закрепления с использованием катионного полиэлектролита и последующей термофиксации. Сформированы рекомендации применения ароматической отделки в соответствии с назначением текстильных материалов и изделий.

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. **Войтенко Е.В.** // *Вектор экономики*. 2022. №. 1. С. 1-17.
2. **Marey A.G., Allam L.N., Abd-Elaal L.S., El-Wakil A.N., Hassabo A.G.** // *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*. 2025. V. 22. N 2. P. 13-29. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259193.1287.
3. **Allam L.N., Abd-Elaal L.S., El-Wakil A.N., Hassabo A.G., Maraae A.G.** // *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*. 2025. V. 22. N 2. P. 77-91. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259768.1319.
4. **Kumari P.** Microencapsulation in Textiles: An Overview. In book: *Innovative Nanocomposites for the Remediation and*

REFERENCES

1. **Voitenko E.V.** // *Vector of the Economy*. 2022. N. 1. P. 1-17. (in Russian).
2. **Marey A.G., Allam L.N., Abd-Elaal L.S., El-Wakil A.N., Hassabo A.G.** // *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*. 2025. V. 22. N 2. P. 13-29. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259193.1287.
3. **Allam L.N., Abd-Elaal L.S., El-Wakil A.N., Hassabo A.G., Maraae A.G.** // *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*. 2025. V. 22. N 2. P. 77-91. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259768.1319.
4. **Kumari P.** Microencapsulation in Textiles: An Overview. In book: *Innovative Nanocomposites for the Remediation and*

- Decontamination of Wastewater. 2022. P. 185-193. DOI: 10.4018/978-1-6684-4553-2.ch010.
5. Singh N., Madhu A., Venkatraman P.D. // *Advances in Healthcare and Protective Textiles*. 2023. P. 509-534. DOI: 10.1016/B978-0-323-91188-7.00009-1.
6. Tariq H., Rehman A., Raza Z.A., Kishwar F., Abid S. // *Polymer Bulletin*. 2024. V. 81. N 9. P. 7585-7629. DOI: 10.1007/s00289-023-05092-x.
7. Малигина А.А., Королёв С.В., Одинцова О.И., Чернова Е.Н. // *Рос. хим. ж.* 2025. Т. 69. № 4. С. 83-87. DOI: 10.6060/rcj.2025694.13.
8. Алёхина А.Ф., Ерзунов К.А., Малигина А.А., Одинцова О.И. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. № 11. С. 6-24. DOI: 10.6060/ivkkt.20256811.7241.
9. Петрушина В.Ю., Шоева А.Д., Ерзунов К.А., Ямнзода З.А., Малигина А.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2025. Т. 69. № 4. С. 59-63. DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.
10. Perinelli D.R., Palmieri G.F., Cespi M., Bonacucina G. // *Molecules*. 2020. V. 25. N 24. P. 5878. DOI: 10.3390/molecules25245878.
11. Mehta S., MacGillivray M. // *Textiles*. 2022. V. 2. N 1. P. 29-49. DOI: 10.3390/textiles2010003.
12. Protano C., Buomprisco G., Cammalleri V., Pocino R.N., Marotta D., Simonazzi S., Cardoni F. // *Cancers*. 2021. V. 14. N 1. P. 165. DOI: 10.3390/cancers14010165.
13. Herrero M., Gonzalez N., Rovira J., Marques M. // *Toxics*. 2022. V. 10. N 7. P. 361. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259768.1319.
14. Khoshakhlagh A.H., Chuang K.J., Kumar P. // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2023. V. 30. N 6. P. 16386-16397. DOI: 10.1007/s11356-022-23353-6.
15. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2024. Т. LXVIII. N 4. С. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
16. Трегубов А.В., Алёхина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2025. Т. 69. № 4. С. 53-58. DOI: 10.6060/rcj.2025694.8.
17. Алёхина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Петрова Л.С. // *Рос. хим. ж.* 2025. Т. 69. № 4. С. 35-40. DOI: 10.6060/rcj.2025694.5.
18. Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Трегубов А.В., Ильичева М.Д., Липина А.А. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
19. 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. Вып. 7. С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
20. Липин А.А., Липин А.Г., Тихомирова А.А., Крисанова В.А. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 7. С. 152-159. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7226.
21. Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В. // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. Т. 1. № 4. С. 85-89. DOI: 10.21608/jtcps.2024.259768.1319.
22. Ge L., Tan X., Sheng R., Xiao J. // *Colloids Interface Sci. Commun.* 2022. V. 47. P. 100603. DOI: 10.1016/j.colcom.2022.100603.
23. Wu Q. X., Wang D.D., Su T., Cheng X.D., Xu X., Chen Y. // *Cellulose*. 2017. V. 24. N 11. P. 4949-4962. DOI: 10.1007/s10570-017-1454-z.
- Decontamination of Wastewater. 2022. P. 185-193. DOI: 10.4018/978-1-6684-4553-2.ch010.
5. Singh N., Madhu A., Venkatraman P.D. // *Advances in Healthcare and Protective Textiles*. 2023. P. 509-534. DOI: 10.1016/B978-0-323-91188-7.00009-1.
6. Tariq H., Rehman A., Raza Z.A., Kishwar F., Abid S. // *Polymer Bulletin*. 2024. V. 81. N 9. P. 7585-7629. DOI: 10.1007/s00289-023-05092-x.
7. Malygina A.A., Korolev S.V., Odintsova O.I., Chernova E.N. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 83-87. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.6060/rcj.2025694.13>.
8. Alekhina A.F., Erzunov K.A., Malygina A.A., Odintsova O.I. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 11. P. 6-24. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2025694.13.
9. Petrushina V.Yu., Shoeva A.D., Erzunov K.A., Yamnzoza Z.A., Malygina A.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 59-63. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20256811.7241.
10. Perinelli D.R., Palmieri G.F., Cespi M., Bonacucina G. // *Molecules*. 2020. V. 25. N 24. P. 5878. DOI: 10.3390/molecules25245878.
11. Mehta S., MacGillivray M. // *Textiles*. 2022. V. 2. N 1. P. 29-49. DOI: 10.3390/textiles2010003.
12. Protano C., Buomprisco G., Cammalleri V., Pocino R.N., Marotta D., Simonazzi S., Cardoni F. // *Cancers*. 2021. V. 14. N 1. P. 165. DOI: 10.3390/cancers14010165.
13. Herrero M., Gonzalez N., Rovira J., Marques M. // *Toxics*. 2022. V. 10. N 7. P. 361. DOI: 10.3390/toxics10070361.
14. Khoshakhlagh A.H., Chuang K.J., Kumar P. // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2023. V. 30. N 6. P. 16386-16397. DOI: 10.1007/s11356-022-23353-6.
15. Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. LXVIII. N 4. P. 110-122. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
16. Tregubov A.V., Alyokhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 53-58. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2025694.8.
17. Alyokhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I., Petrova L.S. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 35-40. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2025694.5.
18. Erzunov K.A., Odintsova O.I., Tregubov A.V., Ilyicheva M.D., Lipina A.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
19. 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. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
20. Lipin A.A., Lipin A.G., Tikhomirova A.A., Krisanova V.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 7. P. 152-159. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7226.
21. Odintsova O.I., Petrova L.S., Kozlova O.V. // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2018. V. 1. N 4. P. 85-89. (in Russian). DOI: 10.21608/jtcps.2024.259768.1319.
22. Ge L., Tan X., Sheng R., Xiao J. // *Colloids Interface Sci. Commun.* 2022. V. 47. P. 100603. DOI: 10.1016/j.colcom.2022.100603.
23. Wu Q. X., Wang D.D., Su T., Cheng X.D., Xu X., Chen Y. // *Cellulose*. 2017. V. 24. N 11. P. 4949-4962. DOI: 10.1007/s10570-017-1454-z.

Поступила в редакцию (Received) 23.03.2026

Принята к опубликованию (Accepted) 19.05.2026