

DOI: 10.32864/polymmattech-2025-11-4-26-36

УДК 678.01:547.473:541.64

НЕТКАНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА И ПОЛИЛАКТИДА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ НЕФТИ ИЗ ВОДНОЙ СРЕДЫ

А. С. КУРНОСОВ^{1,2}, А. А. ОЛЬХОВ^{1,3,4+}, В. С. МАРКИН³, Р. Ю. КОСЕНКО³, Е. Л. КУЧЕРЕНКО³, Ю. Н. ЗЕРНОВА³, Ю. В. ТЕРТЫШНАЯ¹, А. Л. ИОРДАНСКИЙ³

¹Институт биохимической физики имени Н. М. Эмануэля РАН (ИБХФ РАН), ул. Косыгина, 4, 119334, г. Москва, Россия

²Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью Федерального медико-биологического агентства, ул. Погодинская, 10, строение 1, 119121, г. Москва, Россия

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, ул. Косыгина, 4, 119991, г. Москва, Россия

⁴Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Стремянный пер., 36, 115054, г. Москва, Россия

Цель работы — сравнительный анализ сорбционной способности нетканых волокнистых материалов на основе поли-3-гидроксibuтирата, полилактида и их смесей, а также моделирование процесса сорбции с учетом морфологии материалов.

В работе использованы биоразлагаемые полиэфиры: бактериальный поли-3-гидроксibuтират, синтетический полилактид и их смеси. Нетканые волокнистые материалы получали методом электроформования с использованием 10% полимерных растворов в хлороформе. Нетканые волокнистые материалы формовали из чистых полимеров и их смесей. В работе проведены комплексные исследования структуры и сорбционных свойств материалов. Установлено, что нетканые волокнистые материалы ПГБ–ПЛА обладают сравнительно высокими показателями порозности (0,82–0,97) и нефтепоглощения (15–45 г/г) при минимальной сорбции воды (3,8–14 г/г). В работе для описания процесса сорбции предложена геометрическая модель волокнистого сорбента в слое нефти в продольном и поперечном сечении, учитывающая плотность упаковки. Предлагаемые волокнистые материалы рекомендованы для производства селективных сорбентов при удалении нефти и нефтепродуктов с поверхности воды. Достаточно полную очистку воды можно осуществить, используя полимерные абсорбенты с высокоразвитой поверхностью и заданным гидрофильно-гидрофобным балансом. Для этого можно использовать волокнистые материалы, полученные из смесей различных по химическому строению полимеров. При этом такие гетерофазные полимерные системы характеризуются высокой микропористостью и ускоренным биоразложением в условиях окружающей среды, что обеспечит улучшение экологической обстановки.

Ключевые слова: нефтепродукты, очистка воды, сорбция, волокна, электроформование, полигидроксibuтират, полилактид, смеси, нефтепоглощение, биоразлагаемые сорбенты.

⁺Автор для переписки. E-mail: aolkhov72@yandex.ru

Для цитирования:

Курносков А. С., Ольхов А. А., Маркин В. С., Косенко Р. Ю., Кучеренко Е. Л., Зернова Ю. Н., Тertyshnaya Ю. В., Иорданский А. Л. Нетканые волокнистые материалы на основе полигидроксibuтирата и полилактида для селективной сорбции нефти из водной среды // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 4. С. 26–36. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-4-26-36>

⁺Author for correspondence. E-mail: aolkhov72@yandex.ru

For citation:

Kurnosov A. S., Olkhov A. A., Markin V. S., Kosenko R. Yu., Kucherenko E. L., Zernova Yu. N., Tertyshnaya Yu. V., Iordanskii A. L. Netkanye voloknistye materialy na osnove poligidroksibutirata i polilaktida dlya selektivnoy sorbsii nefiti iz vodnoy sredy [Non-woven fibrous materials based on polyhydroxybutyrate and polylactide for selective sorption of oil from aqueous]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 4, pp. 26–36. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-4-26-36>

NON-WOVEN FIBROUS MATERIALS BASED ON POLYHYDROXYBUTYRATE AND POLYLACTIDE FOR SELECTIVE SORPTION OF OIL FROM AQUEOUS

A. S. KURNOSOV^{1,2}, A. A. OLKHOV^{1,3,4+}, V. S. MARKIN³, R. YU. KOSENKO³, E. L. KUCHERENKO³, YU. N. ZERNOVA³, YU. V. TERTYSHNAYA¹, A. L. IORDANSKII³

¹N. M. Emanuel Institute of Biochemical Physics RAS, Kosygin St., 4, 119334, Moscow, Russia

²Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Pogodinskaya St., 10, building 1, 119121, Moscow, Russian

³N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Kosygin St., 4, 119991, Moscow, Russia

⁴Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, 115054, Moscow, Russia

The aim of this study is to comparatively analyze the sorption capacity of nonwoven fibrous materials based on PHB, PLA, and their blends, as well as to model the sorption process taking into account the morphology of the materials.

Biodegradable polyesters were used in this study: bacterial poly-3-hydroxybutyrate, synthetic polylactide, and their blends. Nonwoven fibrous materials were produced by electrospinning 10% polymer solutions in chloroform. The nonwoven fibrous materials were formed from pure polymers and their blends. A comprehensive study of the structure and sorption properties of the materials was conducted. It was found that PHB-PLA nonwoven fibrous materials exhibit relatively high porosity (0.82–0.97) and oil absorption (15–45 g/g) with minimal water sorption (3.8–14 g/g). To describe the sorption process, a geometric model of a fibrous sorbent in an oil layer in longitudinal and transverse sections is proposed, taking into account the packing density. The proposed fibrous materials are recommended for the production of selective sorbents for removing oil and petroleum products from water surfaces. Sufficiently complete water purification can be achieved using polymeric absorbents with a highly developed surface area and a specified hydrophilic-hydrophobic balance. For this purpose, fibrous materials obtained from mixtures of polymers with different chemical structures can be used. Moreover, such heterophase polymer systems are characterized by high microporosity and accelerated biodegradation in the environment, which will improve the environmental situation.

Keywords: petroleum products, water purification, sorption, fibers, electrospinning, polyhydroxybutyrate, polylactide, mixtures, oil absorption, biodegradable sorbents.

Поступила в редакцию 21.08.2025

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Литература

1. Самойлов Н. А., Хлесткин Р. Н., Шеметов А. В., Шаммазов А. А. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Москва : Химия, 2001. 189 с.
2. Zhang T., Li Z., Lü Y., Liu Yu, Yang D., Li Q., Qiu F. Recent progress and future prospects of oil-absorbing materials // Chinese Journal of Chemical Engineering, 2019, vol. 27, is. 6, pp. 1282–1295. doi: 10.1016/j.cjche.2018.09.001
3. Du L., Quan X., Fan X., Chen S., Yu H. Electro-responsive carbon membranes with reversible superhydrophobicity/superhydrophilicity switch for efficient oil/water separation // Separation and Purification Technology, 2019, vol. 210, pp. 891–899. doi: 10.1016/j.seppur.2018.05.032
4. El-Hadi A. M. Development of Novel Biopolymer Blends Based on Poly(L-lactic acid), Poly(R)-3-hydroxybutyrate), and Plasticizer // Polymer Engineering and Science, 2013, vol. 54, is. 6, pp. 1394–1402. doi: 10.1002/pen.23676
5. Hussein M., Amer A. A., Sawsan I. I. Heavy oil spill cleanup using low grade raw cotton fibers: Trial for practical application // Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels, 2011, vol. 2, is. 8, pp. 132–140. doi: 10.5897/JPTAF.9000016

- Mo J., Wang Y., Wang J., Zhao J., Ke Y., Han S., Gan F., Wang L., Ma C. Hydrophobic/oleophilic polylactic acid electrospun fibrous membranes with the silicone semi-interpenetrated networks for oil–water separation // *Journal of Materials Science*, 2022, vol. 57, pp. 16048–16063. doi: 10.1007/s10853-022-07634-6
- Zhao J., Xiao C., Feng Y., Xu N. A Review: Polymethacrylate Fibers as Oil Absorbents // *Polymer Reviews*, 2013, vol. 53, pp. 527–545. doi: 10.1080/15583724.2013.828749
- Karpova S. G., Olkhov A. A., Varyan I. A., Khan O. I., Botin A. A., Naletova A. V., Popov A. A., Iordanskii A. L. Electrospun Polylactide—Poly(ϵ -Caprolactone) Fibers: Structure Characterization and Segmental Dynamic Response // *Polymers*, 2024, vol. 16, is. 10. doi: 10.3390/polym16101307
- Olkhov A. A., Alekseeva O. V., Konstantinova M. L., Podmastaryev V. V., Mastalygina E. E., Zernova Yu. N., Iordanskii A. L. Effect of Glycero-(9,10-trioxolane)-trialeate Ozonide on Structure and Mechanical Properties of Ultrathin Polylactide Fibers Produced by Electrospinning // *Inorganic Materials: Applied Research*, 2024, vol. 15, is. 4, pp. 1023–1030. doi: 10.1134/S2075113324700552
- Jichao Zhang, Lifang Liu, Yang Si, Jianyong Yu, Bin Ding. Rational design of electrospun nanofibrous materials for oil/water emulsion separation // *Materials Chemistry Frontiers*, 2021, vol. 5, is. 1, pp. 97–128. doi: 10.1039/DOQM00436G
- Su Y., Fan T., Cui W., Li Y., Ramakrishna S., Long Y. Advanced Electrospun Nanofibrous Materials for Efficient Oil/Water Separation // *Advanced Fiber Materials*, 2022, vol. 4, pp. 938–958. doi: 10.1007/s42765-022-00158-3
- Mangel A. Identifying Physical and Chemical Phenomena with Gravimetric Water Sorption Analysis // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2000, vol. 62, pp. 529–537. doi: 10.1023/A:1010183407622
- Ольхов А. А., Косенко Р. Ю., Маркин В. С., Староверова О. В., Кучеренко Е. Л., Курносков А. С., Иорданский А. Л. Биодegradация ультраволокнистых материалов на основе смесей полигидроксипутирата и полилактида // *Перспективные материалы*. 2021. № 2. С. 17–31. doi: 10.30791/1028-978X-2021-2-17-31
- Iordanskii A., Karpova S., Olkhov A., Borovikov P., Kildeeva N., Liu Y. Structure-morphology impact upon segmental dynamics and diffusion in the biodegradable ultrafine fibers of polyhydroxybutyrate-poly lactide blends // *European Polymer Journal*, 2019, vol. 117, pp. 208–216. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2019.05.012
- Rogovina S., Zhorina L., Gatin A., Prut E., Kuznetsova O., Yakhina A., Olkhov A., Samoylov N., Grishin M., Iordanskii A., Berlin A. Biodegradable Polylactide–Poly(3-Hydroxybutyrate) Compositions Obtained via Blending under Shear Deformations and Electrospinning: Characterization and Environmental Application // *Polymers*, 2020, vol. 12, is. 5. doi: 10.3390/polym12051088
- Tokiwa Y., Calabia B. P. Biodegradability and biodegradation of poly(lactide) // *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2006, vol. 72, is. 2, pp. 244–251. doi: 10.1007/s00253-006-0488-1
- Фонарева К. А., Сентяков Б. А. Моделирование процесса регенерации волокнистых сорбирующих изделий центробежным способом // *Башкирский химический журнал*. 2017. Т. 24, № 1. С. 54–61.
- Samoilov N. A., Khlestkin R. N., Osipov M. I., Chichirko O. P. Formation of Consolidated Bed by Carbon Sorbent and Oil in Removal of Spilled Oil // *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2004, vol. 77, pp. 327–332. doi: 10.1023/B:RJAC.0000030377.17181.47

References

- Camoylov N. A., Khlestkin R. N., Shemetov A. V., Shammazov A. A. *Sorbtsionnyy metod likvidatsii avariynykh razlivov nefti i nefteproduktov* [Sorption method for liquidation of emergency spills of oil and oil products]. Moscow : Khimiya Publ., 2001. 189 p.
- Zhang T., Li Z., Lü Y., Liu Yu, Yang D., Li Q., Qiu F. Recent progress and future prospects of oil-absorbing materials. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2019, vol. 27, is. 6, pp. 1282–1295. doi: 10.1016/j.cjche.2018.09.001
- Du L., Quan X., Fan X., Chen S., Yu H. Electro-responsive carbon membranes with reversible superhydrophobicity/superhydrophilicity switch for efficient oil/water separation. *Separation and Purification Technology*, 2019, vol. 210, pp. 891–899. doi: 10.1016/j.seppur.2018.05.032
- El-Hadi A. M. Development of Novel Biopolymer Blends Based on Poly(L-lactic acid), Poly((R)-3-hydroxybutyrate), and Plasticizer. *Polymer Engineering and Science*, 2013, vol. 54, is. 6, pp. 1394–1402. doi: 10.1002/pen.23676
- Hussein M., Amer A. A., Sawsan I. I. Heavy oil spill cleanup using low grade raw cotton fibers: Trial for practical application. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*, 2011, vol. 2, is. 8, pp. 132–140. doi: 10.5897/JPTAF.9000016
- Mo J., Wang Y., Wang J., Zhao J., Ke Y., Han S., Gan F., Wang L., Ma C. Hydrophobic/oleophilic polylactic acid electrospun fibrous membranes with the silicone semi-interpenetrated networks for oil–water separation. *Journal of Materials Science*, 2022, vol. 57, pp. 16048–16063. doi: 10.1007/s10853-022-07634-6
- Zhao J., Xiao C., Feng Y., Xu N. A Review: Polymethacrylate Fibers as Oil Absorbents. *Polymer Reviews*, 2013, vol. 53, pp. 527–545. doi: 10.1080/15583724.2013.828749
- Karpova S. G., Olkhov A. A., Varyan I. A., Khan O. I., Botin A. A., Naletova A. V., Popov A. A., Iordanskii A. L. Electrospun Polylactide—Poly(ϵ -Caprolactone) Fibers: Structure Characterization and Segmental Dynamic Response. *Polymers*, 2024, vol. 16, is. 10. doi: 10.3390/polym16101307
- Olkhov A. A., Alekseeva O. V., Konstantinova M. L., Podmastaryev V. V., Mastalygina E. E., Zernova Yu. N., Iordanskii A. L. Effect of Glycero-(9,10-trioxolane)-trialeate Ozonide on Structure and Mechanical Properties of Ultrathin Polylactide Fibers Produced by Electrospinning. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2024, vol. 15, is. 4, pp. 1023–1030. doi: 10.1134/S2075113324700552
- Jichao Zhang, Lifang Liu, Yang Si, Jianyong Yu, Bin Ding. Rational design of electrospun nanofibrous materials for oil/water emulsion separation. *Materials Chemistry Frontiers*, 2021, vol. 5, is. 1, pp. 97–128. doi: 10.1039/DOQM00436G
- Su Y., Fan T., Cui W., Li Y., Ramakrishna S., Long Y. Advanced Electrospun Nanofibrous Materials for Efficient Oil/Water Separation. *Advanced Fiber Materials*, 2022, vol. 4, pp. 938–958. doi: 10.1007/s42765-022-00158-3
- Mangel A. Identifying Physical and Chemical Phenomena with Gravimetric Water Sorption Analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2000, vol. 62, pp. 529–537. doi: 10.1023/A:1010183407622
- Olkhov A. A., Kosenko R. Yu., Markin V. S., Staroverova O. V., Kucherenko E. L., Kurnosov A. S., Iordanskiy A. L. Biodegradatsiya ul'travoloknistykh materialov na osnove smesey poligidroksiputirata i polilaktida [Biodegradation of ultrathin fiber materials based on mixtures of polyhydroxybutyrate and polylactide]. *Perspektivnye materialy* [Journal of Advanced Materials], 2021, no. 2, pp. 17–31. doi: 10.30791/1028-978X-2021-2-17-31
- Iordanskii A., Karpova S., Olkhov A., Borovikov P., Kildeeva N., Liu Y. Structure-morphology impact upon segmental dynamics and diffusion in the biodegradable ultrafine fibers of polyhydroxybutyrate-poly lactide blends. *European Polymer Journal*, 2019, vol. 117, pp. 208–216. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2019.05.012
- Rogovina S., Zhorina L., Gatin A., Prut E., Kuznetsova O., Yakhina A., Olkhov A., Samoylov N., Grishin M., Iordanskii A., Berlin A. Biodegradable Polylactide–Poly(3-Hydroxybutyrate) Compositions Obtained via Blending under Shear Deformations and Electrospinning: Characterization and Environmental Application. *Polymers*, 2020, vol. 12, is. 5. doi: 10.3390/polym12051088
- Tokiwa Y., Calabia B. P. Biodegradability and biodegradation of poly(lactide). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2006, vol. 72, is. 2, pp. 244–251. doi: 10.1007/s00253-006-0488-1

17. Fonareva K. A., Sentyakov B. A. Modelirovanie protsessa regeneratsii voloknistykh sorbiruyushchikh izdeliy tsentrobezhnym sposobom [Design of process of regeneration of fibred sorbing wares by centrifugal method]. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2017, vol. 24, no. 1, pp. 54–61.
 18. Samoilov N. A., Khlestkin R. N., Osipov M. I., Chichirko O. P. Formation of Consolidated Bed by Carbon Sorbent and Oil in Removal of Spilled Oil. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2004, vol. 77, pp. 327–332. doi: 10.1023/B:RJAC.0000030377.17181.47
-