

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-71-82>

УДК 678.742.2:549.642.41:66-96

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ СВМПЭ ВОЛЛАСТОНИТОМ, СИНТЕЗИРОВАННЫМ ИЗ ОТХОДОВ БОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. Н. ДАНИЛОВА<sup>1+</sup>, С. Б. ЯРУСОВА<sup>2,3</sup>, И. Ю. БУРАВЛЕВ<sup>2,4</sup>, С. А. СЛЕПЦОВА<sup>1</sup>, Е. Г. ИГНАТЬЕВА<sup>1</sup>,  
В. Ю. ЯГОФАРОВ<sup>4</sup>, П. С. ГОРДИЕНКО<sup>2</sup>, А. А. ОХЛОПКОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ул. Белинского, 58, 677000, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup>Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, пр-т 100-летия Владивостока, 159, 690022, г. Владивосток, Россия

<sup>3</sup>Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС), ул. Гоголя, 41, 690014, г. Владивосток, Россия

<sup>4</sup>Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), о. Русский, п. Аякс, 10, 690922, г. Владивосток, Россия

*Впервые в качестве наполнителя сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) использовали волластонит, полученный из многотоннажных отходов производства борной кислоты (борогипса) путем гидротермального синтеза при температуре 220 °С. Исследование методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) выявило, что синтезированный волластонит состоит из агрегатов частиц различной формы: овальной, игольчатой. Установлено, что введение волластонита в СВМПЭ способствует повышению относительного удлинения при разрыве на 18% и прочности при растяжении на 27% относительно исходного полимера, что связано с трансформацией надмолекулярной структуры СВМПЭ от ламеллярной до сферолитной. Установлено, что полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе СВМПЭ, наполненные волластонитом, характеризуются уменьшением значения скорости изнашивания в 3 раза относительно ненаполненного ПКМ. Структурными исследованиями поверхности трения ПКМ методами РЭМ и ИК-спектроскопии показано, что в процессе трения частицы волластонита локализуются на поверхности трения композита и формируют с продуктами износа вторичный износостойкий слой, локализирующий сдвиговые деформации. Установлено, что волластонит интенсифицирует трибоокислительные процессы, протекающие в металлополимерном контакте. Показана перспективность применения волластонита, синтезируемого из борогипса, для модификации СВМПЭ и получения ПКМ с повышенными прочностью и износостойкостью.*

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, отходы борного производства, борогипс, волластонит.

## UHMWPE MODIFICATION WITH WOLLASTONITE SYNTHESIZED FROM BORON WASTES

S. N. DANILOVA<sup>1+</sup>, S. B. YARUSOVA<sup>2,3</sup>, I. YU. BURAVLEV<sup>2,4</sup>, S. A. SLEPTSOVA<sup>1</sup>, E. G. IGNATIEVA<sup>1</sup>,  
V. YU. YAGOFAROV<sup>4</sup>, P. S. GORDIENKO<sup>2</sup>, A. A. OKHLOPKOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>North-Eastern Federal University, Belinsky St., 58, 677000, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>The Institute of Chemistry of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Ave 100-letiya Vladivostok, 159, 690022, Vladivostok, Russia Company, University etc.

<sup>3</sup>Vladivostok State University of Economics and service, Gogolya St., 41, 690014, Vladivostok, Russia

<sup>4</sup>Far-Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, 690922, Vladivostok, Russia

*For the first time as a filler of ultra-high-molecular weight polyethylene (UHMWPE) was used the wollastonite obtained by hydrothermal synthesis at 220 °C from multi-tonnage waste of boric acid production*

<sup>+</sup> Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: dsn.sakhayna@mail.ru

(borogypsum). The scanning electron microscopy (SEM) study showed that the synthesized wollastonite consists of particle agglomerates of different shapes (oval, needle). It is established that the addition of wollastonite to UHMWPE increases the elongation at break by 18% and the tensile strength by 27% relative to the initial polymer, which is associated with the transformation of the supramolecular structure of UHMWPE from lamellar to spherulite. It was found that polymer composite materials (PCM) based on UHMWPE filled with wollastonite are characterized by a decrease in the of the wear rate 3 times relative to the unfilled PCM. Structural research of PCM friction surface by SEM and IR-spectroscopy methods show that during friction the particles of wollastonite are localized the friction surface and form a secondary wear-resistant layer with wear products localizing shear deformations. It was determined that wollastonite intensifies tribo-oxidative processes taking place in metal polymer contact. Application perspectivity for modification of UHMWPE using wollastonite synthesized from borogypsum with obtaining PCM with increased durability and wear resistance is shown.

**Keywords:** polymer composite material, ultra-high-molecular polyethylene, boron wastes, borogypsum, wollastonite.

Поступила в редакцию 06.05.2020

© С. Н. Данилова, С. Б. Ярусова, И. Ю. Буравлев, С. А. Слепцова, Е. Г. Игнатъева, В. Ю. Ягофаров, П. С. Гордиенко, А. А. Охлопкова, 2021

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](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

#### Образец цитирования:

Данилова С. Н., Ярусова С. Б., Буравлев И. Ю., Слепцова С. А., Игнатъева Е. Г., Ягофаров В. Ю., Гордиенко П. С., Охлопкова А. А. Модифицирование СВМПЭ волластонитом, синтезированным из отходов борного производства // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7, № 1. С. 71–82. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-71-82>

#### Citation sample:

Danilova S. N., Yarusova S. B., Buravlev I. Yu., Sleptsova S. A., Ignat'eva E. G., Yagofarov V. Yu., Gordienko P. S., Okhlopko A. A. Modifitsirovanie SVMPE wollastonitom, sintezirovannym iz otkhodov bornogo proizvodstva [UHMWPE modification with wollastonite synthesized from boron wastes]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 1, pp. 71–82. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-1-71-82>

#### Литература

1. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы : учеб. пособие : ч. 1. Томск : ТПУ, 2013. 118 с.
2. Šupová M., Martynková G.S., Varabaszová K. Effect of nanofillers dispersion in polymer matrices: a review // *Science of advanced materials*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 1–25. doi: 10.1166/sam.2011.1136
3. Rajak D. K., Pagar D. D., Menezes P. L., Linul E. Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications // *Polymers*, 2019, vol. 11, is. 10, pp. 1667. doi: 10.3390/polym11101667
4. Гладун В. Д., Акатъева Л. В., Андреева Н. Н., Холькин А. И. Получение и применение синтетического волластонита из природного и техногенного сырья // *Химическая технология*, 2004. № 9. С. 4–11.
5. Тюльнин В. А., Ткач В. Р., Эйрих В. И., Стародубцев Н. П. Волластонит: уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. М. : Руда и металлы, 2003. 152 с.
6. Chan J. X., Wong J. F., Hassan A., Mohamad Z., Othman N. Mechanical properties of wollastonite reinforced thermoplastic composites: A review // *Polymer Composites*, 2020, vol. 41, is. 2, pp. 395–429. doi: 10.1002/pc.25403
7. Tong J., Ma Y., Jiang M. Effects of the wollastonite fiber modification on the sliding wear behavior of the UHMWPE composites // *Wear*, 2003, vol. 255, is. 1-6, pp. 734–741. doi: 10.1016/S0043-1648(03)00221-7

8. Tong J., Ma Y., Arnell R. D., Ren L. Free abrasive wear behavior of UHMWPE composites filled with wollastonite fibers // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2006, vol. 37, is. 1, pp. 38–45. doi: 10.1016/j.compositesa.2005.05.023
9. А. с. 1446129 СССР, С 04 В 35/22. Способ получения синтетического wollastonита и диоксида серы / Ершов В. А., Юмашева Л. В., Кузнецова В. Л., Егоров А. А., Степанова Е. В. (СССР). N 4249093/31-33; заявл. 25.05.87; опубл. 23.12.88, Бюл. N 47. 4 с.
10. Zemni S., Hajji M., Triki M., M'nif A., Hamzaoui A. H. Study of phosphogypsum transformation into calcium silicate and sodium sulfate and their physicochemical characterization // *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 198, pp. 874–881. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.099
11. Гладун В. Д., Акатьева Л. В., Холькин А. И. Синтетические силикаты кальция. М.: ИРИСБУК, 2011. 232 с.
12. Холькин А. И., Гладун В. Д., Акатьева Л. В. Физико-химический анализ как методологическая основа процессов переработки минерального сырья и получения неорганических материалов // *Химическая технология*. 2011. Т. 12, № 8. С. 449–464.
13. Патент 2595682 РФ, МПК C01B 33/24; C30B 7/10; C30B 29/34; C30B 29/62; B82B 3/00; B82Y 40/00. Способ получения wollastonита / Гордиенко П. С., Ярусова С. Б., Козин А. В., Степанова В. А., Шабалин И. А., Жевтун И. Г.; заявитель и патентообладатель: ФГБУН Ин-т хим. Дальневосточного отделения Рос-кой акад. наук (ИХ ДВО РАН), ФГБОУ ВО «Владивостокский гос. ун-т экономики и сервиса» (ВГУЭС). N 2015141614/05; заявл. 30.09.2015; опубл. 27.08.16, Бюл. N 24. 9 с.
14. Гордиенко П. С., Ярусова С. Б., Степанова В. А., Козин А. В. Синтез игольчатого wollastonита из отходов борного производства // Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации : материалы научно-практической конференции с международным участием (Дальнегорск, 26–27 мая 2016 г.). Владивосток : ДВФУ, 2016. С. 59–67 [Электронный ресурс]. URL: <https://mitg.vvsu.ru/files/DF7C99C2-D554-476D-ADA7-DB384046572B> (дата обращения: 06.03.2020).
15. Kurtz S. M. The UHMWPE handbook: Ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. Amsterdam ; Boston : Academic Press, 2004. 379 p.
16. Chang B. P., Akil H. M., Nasir R. M. The Effect of Zeolite on the Crystallization Behaviour and Tribological Properties of UHMWPE Composite // *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 812, pp. 100–106. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.812.100
17. Лазарев А. Н. Колебательные спектры и строение силикатов. Л.: Наука, 1968. 347 с.
18. Sitarz M., Handke M., Mozgawa W. Calculations of silicoxygen ring vibration frequencies // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and biomolecular spectroscopy*, 1999, vol. 55, is. 14, pp. 2831–2837. doi: 10.1016/S1386-1425(99)00101-8
19. Kalinkina E. V., Kalinkina A. M., Forsling W., Makarov V. N. Sorption of atmospheric carbon dioxide and structural changes of Ca and Mg silicate minerals during grinding: II. Enstatite, akermanite and wollastonite // *International journal of mineral processing*, 2001, vol. 61, is. 4, pp. 289–299. doi:10.1016/S0301-7516(00)00038-7
20. Охлопкова А. А., Стручкова Т. С., Алексеев А. Г., Васильев А. П. Разработка и исследование полимерных композиционных материалов на основе активации политетрафторэтилена и углеродных наполнителей // *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова*. 2015. № 4 (48). С. 51–63.
21. Охлопкова Т. А., Борисова Р. В., Охлопкова А. А., Дьяконов А. А., Васильев А. П., Миронова С. Н. Микроскопические исследования деформации растяжения сферолитных структур в полимерных композиционных материалах // *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова*. 2015. № 3 (47). С. 75–87.
22. Наполненные полимеры [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/1825239/page:11/> (дата обращения: 01.12.2019).
23. Данилова С. Н., Охлопкова А. А., Гаврильева А. А., Охлопкова Т. А., Борисова Р. В., Дьяконов А. А. Износостойкие полимерные композиционные материалы с улучшенным межфазовым взаимодействием в системе «Полимер–волокно» // *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова*. 2016. № 5 (55). С. 80–92.
24. Васильев А. П., Охлопкова А. А., Стручкова Т. С., Дьяконов А. А., Алексеев А. Г., Гракович П. Н. Взаимосвязь надмолекулярной структуры и триботехнических свойств политетрафторэтилена с углеродными волокнами // *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова*. 2017. № 5 (61). С. 37–46.
25. Охлопкова А. А., Петрова П. Н., Гоголева О. В., Парникова А. Г. Наномодифицированные композиты на основе политетрафторэтилена и сверхвысокомолекулярного полиэтилена // *Перспективные материалы*. 2012. № 6. С. 10–16.
26. Лазарева Н. Н. Разработка триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и механоактивированных слоистых силикатов : автореф. дис. канд. тех. наук : 05.17.06. Якутск, 2019. 18 с.
27. Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений : справочные материалы. М., 2012. 55 с.
28. Слепцова С. А., Кириллина Ю. В., Лазарева Н. Н., Макаров М. М. Разработка и исследование полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и слоистых силикатов // *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова*. 2015. № 6 (50). С. 95–104.
29. Липатов Ю. С. Ориентация высокополимеров и ее влияние на их физико-химические свойства // *Успехи Химии*. 1957. Т. 26, № 7. С. 768–800.

## References

1. Bondaletova L. I., Bondaletov V. G. *Polimernye kompozitsionnye materialy* [Polymer composite materials]. Tomsk : TPU Publ., 2013, part 1. 118 p.
2. Šupová M., Martynková G.S., Barabaszová K. Effect of nanofillers dispersion in polymer matrices: a review. *Science of advanced materials*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 1–25. doi: 10.1166/sam.2011.1136
3. Rajak D. K., Pagar D. D., Menezes P. L., Linul E. Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. *Polymers*, 2019, vol. 11, is. 10, pp. 1667. doi: 10.3390/polym11101667
4. Gladun V. D., Akat'eva L. V., Andreeva N. N., Khol'kin A. I. Poluchenie i primeneniye sinteticheskogo wollastonita iz prirodnoy i tekhnogennogo syr'ya [Production and application of synthetic wollastonite from natural and technogenic raw materials]. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology], 2004, no. 9, pp. 4–11.
5. Tyul'nin V. A., Tkach V. R., Eyrikh V. I., Starodubtsev N. P. *Vollastonit: unikal'noe mineral'noe syr'ye mnogotselevogo naznacheniya* [Wollastonite: unique multipurpose mineral raw materials]. Moscow : Ruda i metally Publ., 2003. 152 p.
6. Chan J. X., Wong J. F., Hassan A., Mohamad Z., Othman N. Mechanical properties of wollastonite reinforced thermoplastic composites: A review. *Polymer Composites*, 2020, vol. 41, is. 2, pp. 395–429. doi: 10.1002/pc.25403
7. Tong J., Ma Y., Jiang M. Effects of the wollastonite fiber modification on the sliding wear behavior of the UHMWPE composites. *Wear*, 2003, vol. 255, is. 1-6, pp. 734–741. doi: 10.1016/S0043-1648(03)00221-7
8. Tong J., Ma Y., Arnell R. D., Ren L. Free abrasive wear behavior of UHMWPE composites filled with wollastonite fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2006, vol. 37, is. 1, pp. 38–45. doi: 10.1016/j.compositesa.2005.05.023
9. Ershov V. A., Yumasheva L. V., Kuznetsova V. L., Egorov A. A., Stepanova E. V. Sposob polucheniya sinteticheskogo wollastonita i dioksida sery [The method of obtaining synthetic wollastonite and sulfur dioxide]. Patent USSR, no. 1446129, 1988.
10. Zemni S., Hajji M., Triki M., M'nif A., Hamzaoui A. H. Study of phosphogypsum transformation into calcium silicate and sodium sulfate and their physicochemical characterization. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 198, pp. 874–881. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.099

11. Gladun V. D., Akat'eva L. V., Khol'kin A. I. *Sinteticheskie silikaty kal'tsiya* [Synthetic calcium silicates]. Moscow : IRISBUK Publ., 2011. 232 p.
12. Khol'kin A. I., Gladun V. D., Akat'eva L. V. Fiziko-khimicheskiy analiz kak metodologicheskaya osnova protsessov pererabotki mineral'nogo syr'ya i polucheniya neorganicheskikh materialov [Physicochemical analysis as the methodological basis of mineral processing and inorganic synthesis]. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology], 2011, vol. 12, no. 8, pp. 449–464.
13. Gordienko P. S., Yarusova S. B., Kozin A. V., Stepanova V. A., Shabalin I. A., Zhevtun I. G. Sposob polucheniya vollastonita [The method of producing wollastonite]. Patent RF, no. 2595682, 2016.
14. Gordienko P. S., Yarusova S. B., Stepanova V. A., Kozin A. V. Sintez igol'chatogo vollastonita iz otkhodov bornogo proizvodstva [Synthesis of acicular wollastonite from boron waste]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye monogorodov: traditsii i innovatsii»* [Proc. II All-Russian scientific and practical Conference “Socio-economic development in single-industry towns: tradition and innovation”]. Vladivostok : DVFU Publ., 2016, pp. 59–67. Available at: <https://mitg.vvsu.ru/files/DF7C99C2-D554-476D-ADA7-DB384046572B> (accessed 06.03.2020).
15. Kurtz S. M. *The UHMWPE handbook: Ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement*. Amsterdam ; Boston : Academic Press, 2004. 379 p.
16. Chang B. P., Akil H. M., Nasir R. M. The Effect of Zeolite on the Crystallization Behaviour and Tribological Properties of UHMWPE Composite. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 812, pp. 100–106. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.812.100 16.
17. Lazarev A. N. *Kolebatel'nye spektry i stroenie silikatov* [Vibrational Spectra and Structure of Silicates]. Leningrad : Nauka Publ., 1968. 347 p.
18. Sitarz M., Handke M., Mozgawa W. Calculations of silicoxygen ring vibration frequencies. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and biomolecular spectroscopy*, 1999, vol. 55, is. 14, pp. 2831–2837. doi: 10.1016/S1386-1425(99)00101-8
19. Kalinkina E. V., Kalinkin A. M., Forsling W., Makarov V. N. Sorption of atmospheric carbon dioxide and structural changes of Ca and Mg silicate minerals during grinding: II. Enstatite, akermanite and wollastonite. *International journal of mineral processing*, 2001, vol. 61, is. 4, pp. 289–299. doi:10.1016/S0301-7516(00)00038-7
20. Okhlopkova A. A., Struchkova T. S., Alekseev A. G., Vasil'ev A. P. Razrabotka i issledovanie polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove aktivatsii politetraforetilena i uglerodnykh napolniteley [Development and research of polymeric composite materials based on activated polytetrafluoroethylene and carbon filler]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University], 2015, no. 4 (48), pp. 51–63.
21. Okhlopkova T. A., Borisova R. V., Okhlopkova A. A., D'yakonov A. A., Vasil'ev A. P., Mironova S. N. Mikroskopicheskie issledovaniya deformatsii rastyazheniya sferolitnykh struktur v polimernykh kompozitsionnykh materialakh [Microscopic Investigations of Spherulitic Structures Tensile Strain in Polymeric Composite Materials]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University], 2015, no. 3 (47), pp. 75–87.
22. Napolnennye polimery [Filled Polymers]. Available at: <https://studfile.net/preview/1825239/page:11/> (accessed 01 December 2019).
23. Danilova S. N., Okhlopkova A. A., Gavril'eva A. A., Okhlopkova T. A., Borisova R. V., D'yakonov A. A. Iznosostoykie polimernye kompozitsionnye materialy s uluchshennym mezhfazovym vzaimodeystviem v sisteme «Polimer–volokno» [Wear resistant polymer composite materials with improved interfacial interaction in the system “Polymer–fiber”]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University], 2016, no. 5 (55), pp. 80–92.
24. Vasil'ev A. P., Okhlopkova A. A., Struchkova T. S., D'yakonov A. A., Alekseev A. G., Grakovich P. N. Vzaimosvyaz' nadmolekulyarnoy struktury i tribotekhnicheskikh svoystv politetraforetilena s uglerodnymi voloknami [Interrelation of the Supramolecular Structure and Tribotechnical Properties of Polytetrafluoroethylene with Carbon Fibers]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University], 2017, no. 5 (61), pp. 37–46.
25. Okhlopkova A. A., Petrova P. N., Gogoleva O. V., Parnikova A. G. Nanomodifitsirovannyye kompozity na osnove politetraforetilena i sverkhvysokomolekulyarnogo polietilena [Nanomodified polymeric composites based on polytetrafluoroethylene and ultra-high molecular weight polyethylene]. *Perspektivnyye materialy* [Journal of Advanced Materials], 2012 no. 6, pp. 10–16.
26. Lazareva N. N. Razrabotka tribotekhnicheskikh materialov na osnove politetraforetilena i mekhanoaktivirovannykh sloistykh silikatov. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development of tribotechnical materials based on polytetrafluoroethylene and mechanically activated layered silicates: Extended. PhD eng. sci. diss. abstract]. Yakutsk, 2019. 18 p.
27. Tarasevich B. N. *IK spektry osnovnykh klassov organicheskikh soedineniy : spravochnye materialy* [The IR spectra of the major classes of organic compounds]. Moscow : MGU Publ., 2012. 55 p.
28. Sleptsova S. A., Kirillina Yu. V., Lazareva N. N., Makarov M. M. Razrabotka i issledovanie polimernykh kompozitov na osnove politetraforetilena i sloistykh silikatov [Development and Research of Polymer Composites Based on Polytetrafluoroethylene and Layered Silicates]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University], 2015, no. 6 (50), pp. 95–104.
29. Lipatov Yu. S. Orientatsiya vysokopolimerov i ee vliyanie na ikh fiziko-khimicheskie svoystva [Orientation of High Polymer and Its Influence on Their Physico-Chemical Properties]. *Uspekhi Khimii* [Russian Chemical Reviews], 1957, vol. 26, no. 7, pp. 768–800.