

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПТФЭ, НАПОЛНЕННЫЕ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МОНТМОРИЛЛОНИТОМ

Е.В. Абакунова, С.Н. Данилова, С.А. Слепцова, А.А. Охлопкова
Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск

Актуальность исследования состоит в том, что одними из перспективных конструкционных и функциональных материалов остаются полимерные композиты на основе политетрафторэтилена. Благодаря уникальным базовым свойствам он находит широкое применение во всех отраслях промышленности, прежде всего в качестве антифрикционных материалов для узлов трения. В условиях низких температур композиты на основе ПТФЭ являются наиболее перспективными триботехническими материалами для сохранения работоспособности техники и оборудования Севера и арктических регионов. Недостатком ПТФЭ являются низкая износостойкость, хладотекучесть, высокий коэффициент термического расширения, которые можно улучшить добавлением наполнителей.

Целью работы является исследование влияния монтмориллонита марки Метамона® 1Н1 на свойства и структуру политетрафторэтилена (ПТФЭ).

В качестве полимерной матрицы использован политетрафторэтилен марки ПТФЭ марки ПН-90, ООО «Галополимер», г. Пермь. В качестве наполнителя использован Монтмориллонит марки МЕТАМОН® 1Н1 – гидрофильная глина, представляющая очищенный природный Na⁺-монтмориллонит.

Введение активированного метамона в композиты позволяет повысить деформационно-прочностные характеристики ПКМ по сравнению с исходным ПТФЭ.

В данной работе представлены результаты исследований влияния органофицированного механоактивированного монтмориллонита (оММТ) марки 101/102 на физико-механические характеристики и структуру политетрафторэтилена. Содержание наполнителя варьировали от 0,5 до 7 мас. %. Установлено, что при введении 0,1-5,0 мас. % оММТ в ПТФЭ прочность ПКМ увеличивается на 25 %, относительное удлинение на 21%. Структурными исследованиями зарегистрирована трансформация надмолекулярной структуры ПТФЭ с формированием сферолитоподобных образований, центрами кристаллизации которых являются частицы оММТ. Для этих концентраций наполнителя установлены более высокие показатели энтальпии плавления и степени кристалличности методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, политетрафторэтилен, органофицированный монтмориллонит, физико-механические свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники требует поиска новых конструкционных материалов, превосходящих по своим деформационно-прочностным, упругим и износостойким свойствам традиционные пластмассы. Весьма перспективными конструкционными материалами для многих отраслей промышленности являются композиционные материалы на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

ПТФЭ используется в узлах трения технических систем благодаря работоспособности в широком интервале температур при сохранении низких и стабильных значений коэффициента трения, а также способности обеспечивать при трении эффект самосмазывания. Однако, недостатки ПТФЭ как хладотекучесть, низкая износостойкость и большой коэффициент термического расширения ограничивают его применение. Для устранения этих недостатков используют технологию модифицирования – наполнение полимерной матрицы различными твердыми частицами.

Одним из перспективных направлений для создания ПКМ является использование в качестве

наполнителей минеральных слоистых силикатов. Известно, что введение частиц природной глины в ПТФЭ приводит к повышению механических характеристик полимерных композиционных материалов (ПКМ). Механизм усиления полимерной матрицы связано с возможной интеркаляцией или эксфолиацией слоистых силикатов в полимере [1].

Показано, что использование монтмориллонита (оММТ) при хорошем диспергировании его частиц в полимерной матрице дает заметное улучшение комплекса свойств получаемых композитов. Тем не менее, процесс совмещения компонентов композита остается сложной технологической задачей в связи с органофобной природой монтмориллонита [3].

Порошкообразный ММТ обычно представляет собой агломераты, каждый из которых содержит до нескольких десятков силикатных пластин глинистого минерала. Наличие таких агломератов приводит к значительному ухудшению эксплуатационных показателей ПКМ.

Данная проблема решается целенаправленной модификацией глинистых минералов. Модификация поверхности частиц глины позволяет, во-первых, разрушить агломераты отдельных кристаллитов

слоевого алюмосиликата [1, 2]. Во-вторых, сформировать в результате адсорбции органических веществ органотфильные слои на поверхности частиц, снижающие поверхностную энергию на границе раздела фаз и тем самым способствующие проникновению макромолекул карбо- и гетероцепных полимеров в межплоскостные пространства глины. В-третьих, достичь такого уровня адгезионного взаимодействия компонентов ПКМ, который необходим для создания высоких служебных характеристик конечного материала [1].

Цель работы исследование влияния органо-модифицированного ММТ на свойства и структуру ПТФЭ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был выбран ПТФЭ марки ПН-90 (ОАО «ГалоПолимер», Россия) со средним размером частиц 90 мкм и плотностью 2,16 г/см³. В качестве наполнителя использовали органо-модифицированный ММТ (оММТ) марки «Монамет 101/102» (АО «Метаклэй», Россия), модифицированный четвертичными аммониевыми солями, метиленовая группа которых варьируется от 12 до 18.

Образцы для исследований получали по следующей методике: смешение полимера и наполнителя в лопастном смесителе; холодное формование при удельном давлении 50 МПа (скорость прессования 0,45 МПа/с, время выдержки под давлением 2 мин) с последующим спеканием в печи SNOL 180-400.

Перед введением наполнитель подвергли механической активации в планетарной мельнице «Активатор-2S» при 1800 об/мин, время активации 2 мин.

Физико-механические свойства ПКМ исследовали на разрывной машине Autograph AGS-J («Shumadzu», Япония) по ГОСТ 11262 при скорости движения подвижных захватов 50 мм/мин (количество образцов на испытание – 6-8).

Термодинамические свойства исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 204 F1 Pheonix («NETZSCH», Германия) со скоростью нагревания 20 °С/мин с навеской образцов – 35 ± 1 мг.

Изучение надмолекулярной структуры наполненных систем проводили на растровом электронном микроскопе JSM-7800F («JEOL», Япония).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рис. 1 представлены результаты исследований физико-механических характеристик ПКМ на основе ПТФЭ и оММТ.

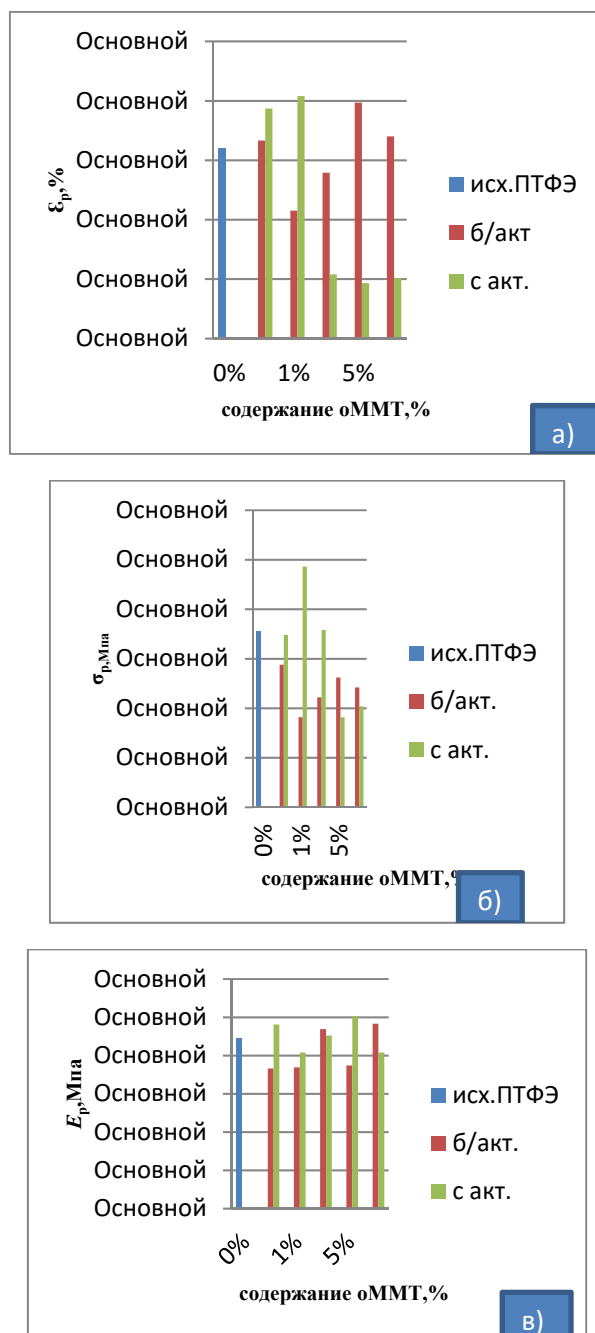


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения при разрыве (а), прочности при растяжении (б) и модуля упругости при растяжении (в) от содержания оММТ в ПКМ

Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии концентрации органоглины на физико-механические свойства ПКМ. Так, при малых концентрациях механоактивированного наполнителя повышаются значения относительного удлинения ПКМ на 21% и предела прочности при разрыве - на 35%. С увеличением концентрации наполнителя зарегистрировано некоторое снижение физико-механических характеристик композита.

Улучшение механических характеристик ПКМ может быть обусловлено тем, что добавленные активированные наполнители, концентрируясь в аморфных областях, увеличивают плотность упаковки структурных элементов, что приводит к упрочнению системы. Некоторое ухудшение механических свойств объясняется повышением жесткости молекул, взаимодействующих с модификатором в пределах аморфной фазы, и, следовательно, повышением хрупкости и снижением прочности. При больших степенях наполнения на механические свойства начинают сказываться факторы, связанные с возникновением перенапряжений на границе полимер-наполнитель, дефектов, ростом менее совершенных структур и т.д. [7].

Для установления влияния наполнителя на процессы структурообразования в ПТФЭ и, соответственно, на характер изменения свойств, методом электронной микроскопии проведены структурные исследования. На рисунке 2 показана структура ПТФЭ, наполненного органомодифицированным ММТ.

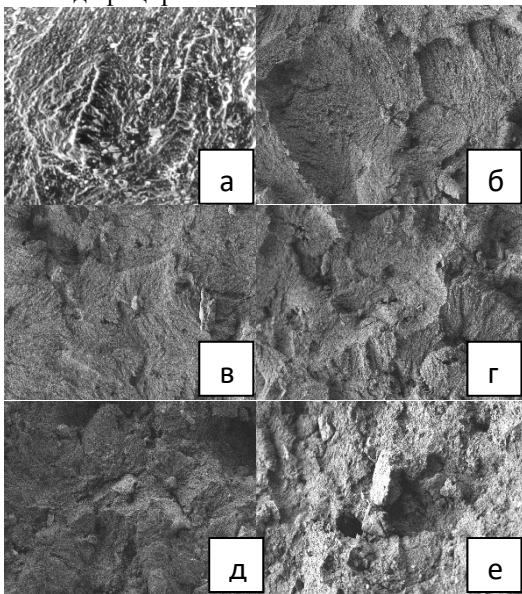


Рис. 2. Надмолекулярная структура ПКМ на основе ПТФЭ и оММТ ($\times 500$): а) ПТФЭ; б) ПТФЭ +0,5% ММТ; в) ПТФЭ +1% ММТ; г) ПТФЭ +2% ММТ; д) ПТФЭ +5% ММТ; е) ПТФЭ + 7% ММТ

Видно, что введение в ПТФЭ механоактивированного оММТ, вызывает трансформацию надмолекулярной структуры полимера с формированием сферолитоподобных структурных образований, в которых наполнитель локализован хаотично. Причиной нетипичной для ПТФЭ кристаллизации, вероятнее всего, является влияние поверхности наполнителей на процессы кристаллизации полимера, активированной в процессе переработки в планетарной мельнице. Как правило, ПТФЭ кристаллизуется с образованием ламеллярной структуры (рис.2,а) [16].

При введении наполнителя происходит изменение морфологии надмолекулярной структуры ПКМ. С увеличением концентрации монтмориллонита от 2 до 7 мас. % зарегистрировано уменьшение размеров и геометрической формы сферолитоподобных элементов, что может быть связано с увеличением скорости кристаллизации ПТФЭ при введении структурно-активного наполнителя с развитой удельной поверхностью. На микрофотографиях видно, что частицы органоглины служат центрами кристаллизации, от которых идет рост сферолитных образований. При концентрации оММТ 7 мас.% наблюдаются дефектные области, и агломераты наполнителя, что приводит к снижению физико-механических характеристик.

С целью оценки уровня энергетического состояния граничных слоев полимер – наполнитель, уровня адгезионного взаимодействия компонентов при получении ПКМ, исследованы энтальпия плавления равновесного полимерного расплава с поверхностью наполнителя методом сканирующей дифференциальной калориметрии.

Табл.1. Термодинамические характеристики ПКМ в зависимости от концентрации активированного ММТ

Материал	Концентрация наполнителя, мас. %	Т пл, °С	$\Delta H_{пл}$, Дж/г	Степень кристалличности, %
ПТФЭ+оММТ	0	325,2	34,1	41,04
	0,1	325,1	42,0	51,2
	0,5	325,0	42,0	51,2
	1,0	325,2	42,2	51,5
	2,0	323,7	32,4	52,5
	5,0	325,4	47,5	57,9

Температура плавления ПКМ в исследованном концентрационном интервале наполнения изменяется незначительно. Это связано с тем, что показания снимали в режиме изотермической кристаллизации при небольшой скорости нагревания образцов (2 град/мин). Зарегистрировано увеличение энтальпии плавления и степени кристалличности ПКМ по сравнению с исходным ПТФЭ, при содержании ММТ 5 мас. %. Показано, что увеличение содержания наполнителя до 5 мас. % приводит к увеличению значения степени кристалличности ПКМ.

Наблюдаемое небольшое повышение степени кристалличности композитов, может быть обусловлено тем, что модифицированный и механоактивированный наполнитель, выступающий в качестве зародышеобразователя структурообразования в полимере, вызывает интенсификацию кристаллизации с формированием нетипичных для ПТФЭ структурных образований. Повышение энтальпии плавления ПКМ при малых концентрациях оММТ (0,5-2,0 мас. %) связано с увеличением скорости кристаллизации и

формированием более упорядоченной структуры ПКМ. Снижение значения энтальпии плавления ПКМ может быть обусловлено повышением вязкости расплава, затрудняющей кристаллизацию ПТФЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований показано, что использование органомодифицированного и механоактивированного монтмориллонита в качестве наполнителя ПТФЭ способствует повышению прочности ПКМ на 35 %. Структурными исследованиями методом РЭМ показана трансформация надмолекулярной структуры ПТФЭ с формированием сферолитоподобных образований, размеры и геометрическая форма которых зависит от концентрации активного наполнителя.

Термодинамические исследования методом ДСК свидетельствуют о том, что введение оММТ в ПТФЭ не приводит к изменению температуры плавления ПКМ. Показано увеличение энтальпии плавления и степени кристалличности ПКМ в 1,5 раза при концентрациях наполнителя от 0,5 до 7,0 мас.%. Данные термодинамических характеристик согласуются со структурными исследованиями. Показано, что при этих концентрациях формируется более упорядоченная структура с образованием мелких сферолитоподобных элементов.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

ПКМ – полимерный композиционный материал; ПТФЭ – политетрафторэтилен; ММТ — монтмориллонит; оММТ — органомодифицированный монтмориллонит; ε_p , % — относительное удлинение при разрыве; σ_p , МПа — предел прочности при растяжении; E_p , МПа — модуль упругости; $T_{пл}$, °C — температура плавления; α , % — степень кристалличности; $\Delta H_{пл}$, Дж/г — энтальпия плавления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Васильев А.П., Алексеев А.Г., Дьяконов А.А. Влияние термической обработки на надмолекулярную структуру порошка политетрафторэтилена // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2016. № 4 (54). С. 48–57.
2. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / под ред. А. А. Берлина. СПб.: Профессия, 2008. С. 54–55.
3. Wang H., Xu L., Zhang M., Li R., Xing Z., Hu J., Wang M., Wu G. More wear-resistant and ductile UHMWPE composite prepared by the addition of radiation cross linked UHMWPE powder // Journal of Applied Polymer Science. 2017. V. 134, N 13. DOI: 10.1002/app.44643
4. Селотин Г.Е., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенская Е.Н., Захаров В.А., Никитин В.Е., Полубояров В.А. Композиционные материалы на основе сверх высокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18, № 3. С. 375–388.
5. Слепцова С.А., Кириллина Ю.В., Лазарева Н.Н., Макаров М.М. Разработка и исследование полимерных композитов на

основе политетрафторэтилена и слоев силикатов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2015. № 6 (50). С. 95–104.

6. Чвалун С.Н., Новокшопова Л.А., Коробко А.П., Бревнов П.Н. Полимер-силикатные нанокompозиты: физико-химические аспекты синтеза полимеризацией in situ // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 5. С. 52–57.

7. Третьякова В. Д., Бахов Ф. Н., Демиденко К. В. Использование современных композиционных материалов на основе слоистых силикатов в автомобильной промышленности // Вестник евразийской науки. 2011. №4 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennykh-kompozitsionnykh-materialov-na-osnove-sloistyykh-silikatov-v-avtomobilnoy-promyshlennosti> (Дата обращения: 14. 03. 2019)

8. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учеб. пособие для студентов. М.: МГУ, 2010. 68 с.

9. Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Песецкий С.С., Миронова С.Н., Саввинова О.Р., Спиридонов А.М. Исследование физико-механических и триботехнических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного органоглиной // Полимерные материалы и технологии, 2018. Т. 4, № 3. С. 57–65.

10. Третьякова В. Д., Бахов Ф. Н., Демиденко К. В. Повышение характеристик композиционных материалов на основе полиамида посредством модификации наночастицами монтмориллонита // Вестник евразийской науки. 2011. № 4 (9). URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf> (дата обращения 20.02.2018)

11. Микитаев А.К., Каладжян А.А., Леднев О.Б., Микитаев М.А. Нанокompозитные полимерные материалы на основе органоглин // Исследовано в России. 2004. Т. 7. С. 912–922. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nanokompozitnye-polimernye-materialy-na-osnove-organoglin> (дата обращения: 20.03.2019).

12. Охлопкова А.А., Петрова П.Н., Попов С.Н., Слепцова С.А. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена. Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 3. С. 147–152.

13. Охлопкова А.А., Охлопкова Т.А., Борисова Р.В. Управление процессами структурообразования в полимерных композиционных материалах на основе СВМПЭ // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. № 2 (78). С. 73–78.

14. Panin S.V., Kornienko L.A., Suan T.N., Ivanova L.R., Korchagin M.A., Shil'ko S.V., Pleskachevskii Y.M. Wear resistance of composites based on hybrid UHMWPE– PTFE matrix: Mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Journal of Friction and Wear, 2015. V. 36. N 3. P. 249–256. DOI: 10.3103/S1068366615030113

Абакунова Елена Викторовна – заведующий лабораторией «Полимерные нанокompозиты» Химического отделения Института естественных наук СВФУ им.М.К.Аммосова, аспирант 4 года обучения по направлению «Химическая технология». Тел. +79244680208; e-mail: e.abakunova@mail.ru.

Данилова Сахаяна Николаевна - ведущий инженер Химического отделения Института естественных наук, научный сотрудник УНТЛ "Технологии полимерных нанокompозитов". Тел. +79142876205; e-mail: dbsksnsdjyj@mail.ru.

Слепцова Сардана Афанасьевна - кандидат технических наук, доцент, заведующий учебно-научной технологической лабораторией "Технологии полимерных нанокompозитов", доцент Химического отделения Института естественных наук СВФУ. Тел. +79142677427; e-mail: ssard@yandex.ru.

Охлопкова Айталиа Алексеевна – доктор технических наук, профессор Химического отделения Института естественных наук СВФУ им.М.К.Аммосова. Тел. +79142357990; e-mail: okhlopkova@yandex.ru.

POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE FILLED WITH MODIFIED MONTMORILLONITE

E.V. Abakunova, S.N. Danylova, S.A. Sleptsova, A.A. Okhlopkova

North-Eastern Federal University, Yakutsk

The development of modern technology requires the search for new structural materials that surpass traditional ones in their deformation-strength, elastic and wear-resistant properties. Composite materials based on PTFE are very promising structural materials for many industries.

PTFE is widely used in friction units of technical systems due to its operability in a wide temperature range while maintaining low and stable values of the coefficient of friction, as well as its ability to provide self-lubrication during friction. Such disadvantages of PTFE as cold flow, low wear resistance, high coefficient of thermal expansion are eliminated by modification, one of the common methods of which is filling.

The paper focuses on the effect of organomodified mechanically activated montmorillonite (OMMT) of 101/102 grade on the physical and mechanical characteristics and structure of polytetrafluoroethylene. The filler content varied from 0.5 to 7 wt. %. With the introduction of 0.1-5.0 wt. % OMMT in PTFE, the strength of PCM increases by 35%, and the elongation by 21% was found. Structural studies have registered the transformation of the supramolecular structure of PTFE with the formation of spherulite-like formations, the centers of crystallization of which are particles of OMMT. For these filler concentrations, higher values of the enthalpy of melting and the degree of crystallinity were established by the method of differential scanning calorimetry.

Index terms: polymer composite material; polytetrafluoroethylene; organomodified mechanically activated montmorillonite; organoclay; physical and mechanical properties; supramolecular structure; enthalpy of melting; degree of crystallinity.

REFERENCES

1. Ohlopkova A. A., Struchkova T.S., Vasil'ev A.P., Alekseev A.G., D'yakonov A.A. Vliyanie termicheskoy obrabotki na nadmolekulyarnuyu strukturu poroshka politetrafluoretilena // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. 2016. N 4 (54). P. 48–57.
2. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S. Polimerne kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya. SPb: Professia, 2011. P. 54–55.
3. Wang H., Xu L., Zhang M., Li R., Xing Z., Hu J., Wang M., Wu G. More wear-resistant and ductile UHMWPE composite prepared by the addition of radiation cross linked UHMWPE powder / Journal of Applied Polymer Science. 2017. V. 134, N 13. DOI: 10.1002/app.44643
4. Selyutin G.E., Gavrilov Yu.Yu., Voskresenskaya E.N., Zaharov V.A., Nikitin V.E., Poluboyarov V.A. Kompozitsionnye materialy na osnove sverhvyssokomolekulyarnogo polietilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2010. V. 18, N 3. P. 375–388.
5. Sleptsova S.A., Kirillina Yu.V., Lazareva N.N., Markov M.M. Razrabotka i issledovanie polimernykh kompozitov na osnove politetrafluoretilena i sloistykh silikatov // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. 2015. N 6 (50). P. 95–104.
6. Chvalun S.N., Novokshonova L.A., Korobko A.P., Brevnov P.N. Polimer-silikatnye nanokompozity: fiziko-khimicheskie aspekty sinteza polimerizatsii in situ // Rossijskiy khimicheskij zhurnal. 2008. V. 52, N 5. P. 52–57.
7. Tret'yakova V. D., Bahov F. N., Demidyonok K. V. Ispol'zovanie sovremennykh kompozitsionnykh materialov na osnove sloistykh silikatov v avtomobil'noy promyshlennosti // Vestnik evrazijskoy nauki. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sovremennykh-kompozitsionnykh-materialov-na-osnove-sloistykh-silikatov-v-avtomobilnoy-promyshlennosti> (accessed 14 March 2019).
8. Bogdanova Yu.G. Adgeziya i ee rol' v obespechenii prochnosti polimernykh kompozitov. Posobie dlya studentov. M.: Moscow State University Press, 2010. 68 p.
9. Danilova S.N., Okhlopkova A.A., Pesetsky S.S., Mironova S.N., Savvinova O.R., Spiridonov A.M. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i tribotekhnicheskikh svoystv sverhvyssokomolekul'nogo polijetilena, modifitsirovannogo organoglinoj // Polimernye materialy i tekhnologii. 2018. V. 4, N 3. P. 57–65.
10. Tret'yakova V.D., Bahov F.N., Demidyonok K.V. Povyshenie harakteristik kompozitsionnykh materialov na osnove poliamida posredstvom modifikatsii nanochastitsami montmorillonita // Vestnik evrazijskoy nauki. 2011. N 4 (9). Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf> (accessed 20 February 2018).
11. Mikitaev A.K., Kaladzhyan A.A., Lednev O.B., Mikiyev M.A. Nanokompozitnye polimernye materialy na osnove organoglin // Issledovaniya v Rossii. 2004. V. 7. P. 912–922. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nanokompozitnye-polimernye-materialy-na-osnove-organoglin> (accessed 20 March 2019).
12. Okhlopkova A.A., Petrova P.N., Popov S.N., Sleptsova S.A. Polimernye kompozitsionnye materialy tribotekhnicheskogo naznacheniya na osnove politetrafluoretilena // Rossijskiy khimicheskij zhurnal. 2008. V. 52, N 3. P. 147–152.
13. Okhlopkova A.A., Okhlopkova T.A., Borisova R.V. Upravlenie processami strukturoobrazovaniya v polimernykh kompozitsionnykh materialakh na osnove SVMPEH // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. 2015. N 2 (78). P. 73–78.
14. Panin S.V., Kornienko L.A., Suan T.N., Ivanova L.R., Korchagin M.A., Shil'ko S.V., Pleskachevskii Y.M. Wear resistance of composites based on hybrid UHMWPE–PTFE matrix: Mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Journal of Friction and Wear. 2015. V. 36. N 3. P. 249–256. DOI: 10.3103/S106836661503011

Abakunova Elena Viktorovna - Head of Polymer Nanocomposites Laboratory, Chemistry Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, four-year post-graduate student (Chemical Engineering), +7 924 468-02-08; e.abakunova@mail.ru.

Danilova Sakhayana Nikolaevna - lead engineer, Chemistry Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, researcher of the Laboratory of Education Science and Technology on Polymer Nanocomposites Technologies, +7 914 287-62-05; dbksnsdjy@mail.ru

Sleptsova Sardana Afanasjevna - Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Chemistry Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Head of the Laboratory of Education Science and Technology on Polymer Nanocomposites Technologies, +7 914 267-74-27; ssard@yandex.ru.

Okhlopkova Aitalina Alekseevna - Dr. Sc. in Engineering, Professor, Chemistry Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, +7 914 235-79-90; okhlopkova@yandex.ru