



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

УДК 665.93

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.004

 EDN: MSQWWY

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА АДГЕЗИВОВ ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ

Долгуйаана Николаевна Сидорова <sup>1</sup>, Наталья Николаевна Местникова <sup>2</sup>,  
Наталья Николаевна Петрова <sup>3</sup>, Надежда Николаевна Лазарева <sup>4</sup>,  
Охлопкова Айталиа Алексеевна <sup>5</sup>

1, 2, 3, 4 Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

<sup>1</sup> dolguyaana.sidorova@bk.ru

<sup>2</sup> mnn\_kyn@mail.ru

<sup>3</sup> pnn2002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-7511>

<sup>4</sup> lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

<sup>5</sup> okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

**Аннотация.** Способность клеев создавать прочное соединение между поверхностями разных материалов нашло широкое применение в различных областях жизни: в быту, промышленности и также обширно используются в медицине. В настоящее время для изготовления адгезивов в медицине используют изделия на основе цианокрилатов, акрилонитрильных и других синтетических каучуков. В данной статье исследованы свойства адгезивов постоянной липкости (АПЛ) медицинского назначения на основе натурального каучука. Впервые в качестве наполнителей использован лишайник *Cladonia*, пчелиный воск ООО «Якутский пчелоцентр» и феррит бария. В данной работе разработаны и исследованы 12 составов клеевых композиций. Исследованы их физико-механические свойства, а именно; прочность при расплавлении, разрушающее усилие, а также рассчитано водопоглощение данных клеевых составов. Выявлена зависимость водопоглощения адгезивов от количества содержания пектина. Кроме того, образцы составов 8–12 с диаметром 50 мм испытаны на добровольцах, где было выявлено, что клей может держаться на коже от 3 до 5 суток, аллергических реакций при этом не выявлено. Обнаружено, что при введении лишайника *Cladonia* и пчелиного воска в полимерную матрицу помимо их полезных для организма человека свойств, улучшаются прочностные свойства адгезивов постоянной липкости.

**Ключевые слова:** натуральный каучук, адгезивы медицинского назначения, канифоль, пектин, водопоглощение, липкость.

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках реализации Госзадания Минобрнауки РФ №FSRG-2020-0017.

**Для цитирования:** Разработка состава адгезивов постоянной липкости / Д. Н. Сидорова [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т.2. С. 24–30. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.004. EDN: <https://elibrary.ru/MSQWWY>.

Original article

## DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF PERMANENT STICKING ADHESIVES

Dolguyaana N. Sidorova <sup>1</sup>, Natal'ya N. Mestnikova <sup>2</sup>, Natalia N. Petrova <sup>3</sup>,  
Nadezhda N. Lazareva <sup>4</sup>, Aitalina A. Okhlopkova <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> North-Eastern federal university named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

<sup>1</sup> dolguyaana.sidorova@bk.ru

<sup>2</sup> mnn\_kyn@mail.ru

<sup>3</sup> pnn2002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-7511>

<sup>4</sup> lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

<sup>5</sup> okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

**Abstract.** *The ability of adhesives to create a strong connection between the surfaces of different materials has found wide application in various areas of life - in everyday life, industry, and is also widely used in medicine. Currently, for the manufacture of adhesives in medicine, products based on cyanoacrylates, acrylonitrile and other synthetic rubbers are used. This article explores the properties of permanent adhesives for medical use based on natural rubber. For the first time, Cladonia lichen, beeswax from Yakutsk Bee Center LLC and barium ferrite were used as fillers. In this work, 12 recipes of adhesive compositions have been developed and studied. Their physico-mechanical properties, namely, the delamination strength, the breaking force have been studied, and the water absorption of these adhesive compositions has been calculated. The dependence of water absorption of adhesives on the amount of pectin content was revealed. In addition, samples of compositions 8-12 with a diameter of 50 mm were tested on volunteers, where it was found that the glue can stay on the skin for 3 to 5 days, while no allergic reactions were detected. It was found that with the introduction of Cladonia lichen and beeswax into the polymer matrix, in addition to their beneficial properties for the human body, the strength properties of permanent tack adhesives are improved.*

**Keywords:** *natural rubber, medical adhesives, rosin, pectin, water absorption, stickiness.*

**Acknowledgements:** *This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FSRG-2020-0017).*

---

**For citation:** Sidorova, D. N., Mestnikova, N. N., Petrova, N. N., Lazareva, N. N. & Okhlopkova, A. A. (2022). Development of the composition of permanent sticking adhesives. *Polzunovskiy vestnik*, 4(2), 24-30. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.004. EDN: <https://elibrary.ru/MSQWWY>.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Перспективным направлением в медицине является разработка и создание адгезивов постоянной липкости для фиксации и герметизации устройств медицинской техники. При этом для фиксации на кожу человека компонентов кало- и мочеприемников, вакуумных систем, используемых при взятии венозной крови, в обязательном порядке используются в раневых покрытиях для наложения на поврежденную или интактную кожу с целью ее защиты и лечения. Исходя из этого к адгезивам выдвигаются жесткие требования, такие как оптимальная вязкость и сорбционная способность, гипоаллергенность, нетоксичность, герметичность, сохранение эластичности и клеевой способности на несколько суток, отсутствие следов клея

при отслаивании. Поэтому для адгезивов медицинского назначения необходимо использовать компоненты натурального происхождения с хорошей биосовместимостью и инертностью [1–3].

В настоящее время из-за развития высоких технологий повышается востребованность в природных и биоразлагаемых полимерах. Известно [4], что изделия на основе натуральных каучуков зарекомендовали себя в качестве основного матричного материала в медицине. Одним из распространенных изделий в медицинской промышленности, где применяют натуральный каучук, является пластырь. Для пластыря используют смеси каучуков, модифицированных лекарственными и сопутствующими веществами. Однако известные материалы для пластырей имеют нежелательные характеристики, в основном

гидрофобность, склонность к полимеризации, а также может наблюдаться эффект мацерации при длительной эксплуатации материала. Для устранения этих недостатков в медицинские адгезивы добавляют компоненты природного происхождения.

В связи с этим подбор состава адгезионных материалов медицинского назначения для длительного контакта с кожей человека является актуальной проблемой.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основой клеевого состава является натуральный каучук (НК) марки SVR – 3L (Duc Thang Co., Вьетнам).

В качестве наполнителей использованы:

- сосновая канифоль (Кнф) производства «AVR.group», ГОСТ 19113-84;
- полиизобутилен (П-85);
- пчелиный воск (ПВ), ООО «Якутский пчелоцентр»;
- яблочный пектин (Пкт) производства АО Компания «Проксима», ГОСТ 29186-95;
- лишайник Cladonia, ООО «Механохимические биотехнологии»;
- феррит бария (ФБ) (предоставлен Гомельским государственным университетом им. Ф. Скорины).

Смешение ингредиентов медицинского адгезива производилось на лабораторных вальцах открытого типа «Polymix 110L» (Brabender, Германия) при начальной температуре 120 °С и скорости вращения валков 40 об/мин.

Сначала на нагретые валки смесителя загружали НК, который далее разогревался и покрывал поверхность одного из валов, далее в полимерную матрицу вводили канифоль и пчелиный воск. Смешение ингредиентов проводили на протяжении 1–2 ч до получения однородной желеобразной субстанции.

Затем охлаждали смешивающие валки до 60 °С и вводили яблочный пектин во вращающуюся смесь. Далее смешение ингредиентов продолжалось еще 30 мин до получения гомогенной смеси. Полученную клеевую смесь наносили на мягкий нетканый материал.

Надежность и длительность эксплуатации медицинских клеев определяется герметичностью клеевого соединения на коже пациента и прочностью адгезионного соединения. Прочность клеевого соединения при отслаивании определяли по ГОСТ 28966.2-91 [5] при скорости перемещения зажимов 100 мм/мин на испытательной машине Authograph AGS-J (Shimadzu, Япония); водопоглощение определяли согласно ГОСТ 4650-2014 [6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученный адгезив постоянной липкости (АПЛ) представляет собой гомогенную желеобразную субстанцию коричнево-желтого цвета с запахом древесной смолы.

Срок эксплуатации пластыря с разработанным АПЛ зависит от водопоглощающих свойств, т.к. потовые железы кожи постоянно выделяют пот, который покрывает кожу тонким слоем. Следует отметить, что длительность эксплуатации АПЛ зависит от состояния кожного покрова. Водопоглощение ( $\beta$ ) композиций определяли гравиметрическим методом по ГОСТ 4650-2014, оценивая количество воды, поглощенной единицей площади образца за единицу времени. Испытания проводили в дистиллированной холодной воде на образцах квадратной формы площадью  $S = 50 \times 50 \text{ мм}^2$  и толщиной  $h$  не менее 1,6 мм при  $T = 23 \pm 2 \text{ °С}$  с длительностью экспонирования 24 часа.

В таблице 1 приведены состав адгезивов постоянной липкости и их показатели водопоглощения.

Таблица 1 – Состав и водопоглощение АПЛ

Table 1 - Composition and water absorption of permanent sticking adhesives

Компоненты / Свойство	Массовая доля компонентов в составе, мас. %					
	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4	Состав 5	Состав 6
Натуральный каучук	42	42	42	35,28	35,84	29,92
Канифоль	18	22	20	18,90	19,20	16,02
Пектин	38	26	38	35	40	45
Полиизобутилен	–	–	–	8,82	8,98	7,48
Пчелиный воск	2	2	2	2,10	2,14	1,78
<b>Водопоглощение, %</b>	<b>24,30±2,70</b>	<b>23,70±2,30</b>	<b>95,50±5,40</b>	<b>17,92±1,50</b>	<b>162,02±14,38</b>	<b>265,18±25,76</b>

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА АДГЕЗИВОВ ПОСТОЯННОЙ ЛИПКОСТИ

Данные приведены в виде графика зависимости на рисунке 1.



Рисунок 1 – График зависимости водопоглощения β составов 4–6 от содержания пектина

Figure 1 - Graph of water absorption of β compositions 4-6 from the content of pectin

Из рисунка 1 видно, что наблюдается прямая зависимость водопоглощения от содержания пектина в АПЛ, т.е. чем выше содержание пектина, тем больше водопоглощение. Точность полученных данных характеризуется коэффициентом детерминации, который равен 0,9909. Известно, что чем ближе значение коэффициента к 1, тем сильнее зависимость водопоглощения от содержания пектина.

Таблица 2 – Рецепт новых составов

Table 2 - Recipe of new compositions

Компоненты	Массовая доля компонентов в составе, мас. %					
	Состав 7	Состав 8	Состав 9	Состав 10	Состав 11	Состав 12
Натуральный каучук	42	46,2	46,7	46,6	46,6	46,4
Канифоль	18	9,9	8,9	8,8	8,9	8,8
Пектин	38	41,7	42,2	42	42,16	42
Пчелиный воск	2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Лишайник	–	–	–	0,4	–	0,44
Феррит бария	–	–	–	–	0,14	0,14

В таблице 3 представлены результаты определения прочностных показателей вышеприведенных клеевых композитов.

Таблица 3 – Прочностные показатели клеевого соединения

Table 3 - Strength properties of the adhesive joint

Состав	Р, Н	П, кН/м	Вид разрушения
1	2	3	4
№ 7	10,12	0,67±0,07	ККР(100%)
№ 8	11,51	0,73±0,09	ККР(100%)

В работе ученых Самарского государственного технического университета [7] указано, что главным свойством пектина является гелеобразующая способность. Они установили, что студенистая структура коллоидных растворов пектина – это результат взаимодействия молекул пектина друг с другом. Формирование такой структуры зависит от особенностей строения молекулы, степени его этерификации, характера распределения карбоксильных групп, температуры, pH среды и содержания дегидратирующих веществ [8].

Основным критерием герметичности клеевого соединения с кожей человека и обуславливающим длительность его эксплуатации является прочность клеевого соединения при отслаивании.

Известный факт, что повышение адгезионных свойств клея увеличивает длительность его носки на коже и возможность выдерживать большую нагрузку. Однако если потребуются снять пластырь раньше срока, то человек может испытывать некоторый дискомфорт из-за сильной адгезии клея к коже.

В данной работе для моделирования условий, приближенных к реальным, провели испытание на прочность при отслаивании под углом 90 ° с использованием натуральной кожи в качестве мягкой подложки [9].

Для последующего внедрения наполнителей в клеевую массу была изменена рецептура из-за высокой степени липкости разработанных медицинских клеев (таблица 2).

Продолжение таблицы 3 / Table 3 cont.

1	2	3	4
№ 9	6,67	0,44±0,06	АР (90%), ККР (10%)
№ 10	3,75	0,24±0,01	АР (100%)
№ 11	7,17	0,48±0,02	АР (90%), ККР (10%)
№ 12	9,05	0,60±0,06	АР (10%), ККР (90%)

Примечания: Р, Н – разрушающее усилие, П<sub>омс</sub>, кН/м – прочность при отслаивании, АР – адгезионное разрушение, ККР – когезионное разрушение по клею.

Из таблицы 3 видно, что составы 9, 10 и 11 характеризуются адгезионным разрушением и низкой прочностью при отслаивании. Однако на стадии разрушения адгезионного соединения АПЛ должен сопротивляться усилию отрыва, рассеивая большое количество механической энергии и обеспечивая высокую прочность адгезионного соединения, чтобы адгезионная связь не разрушалась столь же быстро и легко, как она сформировалась [10]. Т.е. чем выше разрушающее усилие и прочность при отслаивании клеевого слоя композиции, тем больше преобладает когезионное разрушение по клею.

Также оценивали физико-механические и эксплуатационные свойства разработанного медицинского клея. Испытание проводили на 5 испытуемых. У испытуемых добровольцев имеются различные заболевания кожи, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики испытуемых добровольцев

Table 4 - Characteristics of the tested volunteers

Испытуемые	Пол	Возраст	Заболевания кожи
№ 1	Ж	24 года	–
№ 2	Ж	21 год	Чувствительная кожа
№ 3	М	25 лет	Аллергичность
№ 4	М	22 года	Атопический дерматит
№ 5	Ж	20 лет	Псориаз

Полученные клеи-адгезивы раскатывали на вальцах до получения склеенного шва шириной в 1,3 мм.

Таблица 5 – Результаты испытаний АПЛ на добровольцах

Table 5 - Test results of developed adhesives on volunteers

Составы	Зуд	Боль при отрыве	Отслаивание при носке	Остатки клея на коже	Количество суток, в течение которых держался клей
№ 8	Отсутствует	Незначительная	Отсутствует	Отсутствует	3 сутки
№ 9	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	3 сутки
№ 10	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	3 сутки
№ 11	Отсутствует	Незначительная	Отсутствует	Отсутствует	5 суток
№ 12	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Небольшой след от клея	5 суток

Далее вырезали круги одинакового размера диаметром 50 мм. Затем, обработав кожу спиртом, приклеивали на предплечье клей и оставляли на неопределенный срок до самостоятельного отклеивания образцов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Клей-адгезив на добровольце

Figure 2 - Adhesive adhesive on a volunteer

Результаты проведенных испытаний приведены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что составы 11 и 12 наиболее долгое время сохраняли свою клейкость и продержались на коже испытуемых до 5 дней. Следует отметить, что добровольцы не избегали попадания воды в АПЛ. Зафиксировано, что все составы не вызывают аллергических реакций. При отрыве пластырей от кожи добровольцы не почувствовали сильную боль. Установили, что разработанные составы не оставляют следов клея при отслаивании, кроме состава № 12, при отрыве которого оставался небольшой след от клея.

Следует отметить, что свойства исследуемых АПЛ можно регулировать, изменяя содержание компонентов. Таким образом, можно получить тот состав АПЛ, который требуется потребителю.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, установлено, что разработанные составы АПЛ являются перспективными материалами, и могут использоваться для соединения дренажных систем, катетеров, клейких лент и других медицинских изделий. Зарегистрировано, что при увеличении массового содержания пектина в составе АПЛ наблюдается грация водопоглощения.

При добавлении натуральных наполнителей в клеевую массу, помимо их полезных для организма человека свойств, улучшаются прочностные свойства АПЛ.

При испытании образцов клея на добровольцах аллергических реакций не выявлено, полученный клей может держаться на коже от 3 до 5 суток.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поциус, А. Клеи, адгезия, технология склеивания ; пер. с англ. / Под ред. Г.В.Комарова. – СПб. : Профессия, 2007. 376 с.
2. Калиниченко, М.Л., Долгий, Л.П., Калиниченко, В.А. Технология склеивания : теория, практика, материалы. – Минск : БНТУ, 2021. – 187 с.
3. Чалдаева, Д.А. Исторические предпосылки производства натурального каучука / Д.А. Чалдаева // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 9. – С. 91–97.
4. Partheniumargentatum A. Gray, Taraxacumkok-saghyz L.E. Rodin и Scorzonera-tau-saghyz Lipsch. et Bosse как альтернативные источники натурального каучука: нужны ли они нам? / А.Ю. Америк [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57. – N 1. – С. 3–26. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.3rus.

5. ГОСТ 28966.2-91. Клеи полимерные. Метод определения прочности при отслаивании : введ. 1992-01-01. – Москва, 2004. – 21 с.

6. ГОСТ 4650-2014. Пластмассы. Методы определения водопоглощения : введ. 2015-03-01. Москва, 2014. – 15 с.

7. Использование пектина в качестве компонента комбинированной съедобной пленки / Д.Е. Быков [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 46. – № 3. – С. 23–28.

8. Функциональные продукты питания / Р.А. Зайнуллин [и др.]. – М. : КноРус, 2017. – 303 с.

9. Захарова, А.А., Сидорова, Д.Н., Будикина, Д.Т., Местникова, Н.Н. Разработка состава адгезивов медицинского назначения // Вклад Д.И. Менделеева в развитие фундаментальных наук, в углубление и расширение образования для устойчивого развития: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2019. – С. 128–131.

10. Чувствительные к давлению адгезивы с регулируемой липкостью / К.А. Бовальдинова [и др.] // Высокомолекулярные соединения (серия Б). – 2019. – Т. 61. – № 4. – С. 289–302. DOI: 10.1134/S2308113919040016.

### Информация об авторах

*Д. Н. Сидорова – лаборант учебно-научно-технологической лаборатории «Технологии полимерных нанокompозитов» химического отделения института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова.*

*Н. Н. Местникова – доцент химического отделения института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова.*

*Н. Н. Петрова – доктор химических наук, доцент, заведующий химическим отделением института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова.*

*Н. Н. Лазарева – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник – заведующий учебно-научно-технологической лабораторией «Технологии полимерных нанокompозитов» химического отделения института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова.*

*А. А. Охлопкова – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник учебно-научно-технологической лаборатории «Технологии полимерных нанокompозитов» химического отделения института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова.*

## REFERENCES

1. Pocius, A. (2007). *Adhesives, adhesion, bonding technology*. St. Petersburg: Profession. (In Russ.).
2. Kalinichenko, M.L., Dolgij, L.P. & Kalinichenko, V.A. (2021). *Bonding technology: theory, practice, materials*. Minsk: BNTU.
3. CHaldaeva, D.A. (2011). Historical Background of Natural Rubber Production. *Bulletin of Kazan Technological University*, (9), 91-97. (In Russ.).
4. A.YU. Amerik, L.YU. Martirosyan, V.V. Martirosyan, YU.C. Martirosyan. (2022). Partheniumargentatum A. Gray, Taraxacumkok-saghyz L.E. Rodin and Scorzonera tau-saghyz Lipsch. et Bosse as alternative sources of natural rubber: do we need them? *Agricultural biology*, (Vol. 57, No. 1), 3-26. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiol.2022.1.3rus.
5. Adhesives are polymeric. Peel Strength Method. (2004). HOST 28966.2-91 from 1 Jan. 1992. Moscow: Standardinform. (In Russ.).
6. Plastics. Methods for determining water absorption. (2015). HOST 4650-2014 from 1 Mar. 2015. Moscow: Standartinform. (In Russ.).
7. Bykov, D.E., Makarova, N.V., Demidova, A.V., Ereemeeva, N.B. (2017). The use of pectin as a component of a combined edible film. *Food Processing: Techniques and Technology*, (Vol. 46, № 3), 23-28. (In Russ.).
8. Zajnullin, R.A., Gadeleva, H.K., Kunakova, R.V. (2017). *Functional foods*. Moscow : Kno Rus. (In Russ.).
9. Zakharova, A.A., Sidorova, D.N., Budikina, D.T., Mestnikova, N.N. (2019). Development of the composition of adhesives for medical purposes. *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation "Contribution of D.I. Mendeleev in the development of fundamental sciences, in the deepening and expansion of education for sustainable development"*. N.N. Petrova, A.E. Egorova, V.V. Nokhsorov (Ed.). Kirov: Interre-

gional Center for Innovative Technologies in Education. (In Russ.).

10. Boval'dinova, K.A., SHERSTNEVA, N.E., Fel'dshtejn, M.M., Moskalec, A.P. & Hohlov, A.R. (2019). Pressure sensitive adhesives with adjustable tack. *Polymer Science, Series B*. 2019, (Vol. 61, N 4), 289-302. DOI: 10.1134/S2308113919040016. (In Russ.).

## Information about the authors

*D. N. Sidorova - Laboratory Assistant at the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites" of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences of the Ammosov North-Eastern Federal University.*

*N. N. Mestnikova - Associate Professor of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences of the Ammosov North-Eastern Federal University.*

*N. N. Petrova - Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences of the Ammosov North-Eastern Federal University.*

*N. N. Lazareva - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher-Head of the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites" of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences of the Ammosov North-Eastern Federal University.*

*A. A. Okhlopko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites" of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences of the Ammosov North-Eastern Federal University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 15.12.2022.*

*The article was received by the editorial board on 10 Oct 2022; approved after editing on 30 Nov 2022; accepted for publication on 15 Dec 2022.*