

Оригинальная статья / Original article

УДК 665.3:678

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707>



Повышение биоразлагаемости эпоксидных материалов за счет модификации растительными маслами и их кислородсодержащими производными

© Е.М. Готлиб, Т.В. Вдовина, Е.С. Ямалеева

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Резюме: Проблема утилизации изделий из эпоксидных смол является актуальной задачей в связи с микробиологической стойкостью данного типа полимера. Целью настоящей работы являлось повышение биоразлагаемости эпоксидных материалов под действием микроорганизмов почвы и мицелиальных грибов за счет модификации соевым маслом и маслом каучукового дерева и их кислородсодержащими производными, а также смесью соевого масла с олеиновой кислотой. Согласно полученным результатам, внесение в почву материала на основе немодифицированной эпоксидной смолы приводит к снижению дыхательной активности почвенного микробиоценоза в 2,2 раза по сравнению с дыхательной активностью почвы без полимеров. Это свидетельствует о том, что эпоксидно-диановая смола или отвердитель (аминофенол) оказывают ингибирующее действие на микробиоценоз почвы. Модификация эпоксидной смолы растительными маслами и их кислородсодержащими производными обуславливает увеличение дыхательной активности почвенного микробиоценоза по сравнению с дыхательной активностью почвы в присутствии немодифицированной эпоксидной смолы, что указывает на их биоразлагаемость. Снижение содержания карбоновых кислот в составе масла каучукового дерева после эпоксидирования, на что указывает уменьшение кислотного числа, приводит к некоторому снижению дыхательной активности микробиоценоза почвы. Аналогичный эффект по этой же причине оказывает карбонизация растительных масел. На увеличение биodeградации эпоксидных материалов при модификации указывают и результаты оценки их грибостойкости по степени развития плесневелых грибов рода *Trichoderma*. Таким образом, установлено, что растительные масла и их кислородсодержащие производные увеличивают биоразложение эпоксидных материалов. При этом из всех исследованных вариаций составов наибольшей биоразлагаемостью характеризуются эпоксидные материалы, модифицированные маслом каучукового дерева и смесью соевого масла с олеиновой кислотой.

Ключевые слова: эпоксидный полимер, растительные масла, биodeградируемость, микробиоценоз почвы, грибостойкость

Для цитирования: Готлиб Е.М., Вдовина Т.В., Ямалеева Е.С. Повышение биоразлагаемости эпоксидных материалов за счет модификации растительными маслами и их кислородсодержащими производными. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020. Т. 10. N 4. С. 700–707. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707>

Increasing the biodegradability of epoxy materials by means of vegetable oils and their oxygenated derivatives

Elena M. Gotlib, Tatyana V. Vdovina, Ekaterina S. Yamaleeva

Kazan National Research Technological University,
Kazan, Russian Federation

Abstract: Recycling of epoxy resin products is an urgent problem due to the microbiological resistance of such polymers. In this work, we aimed to increase the biodegradability of epoxy materials under the action of soil microorganisms and mycelial fungi. The modification of epoxy materials was carried out using soybean oil, rubber tree oil and their oxygenated derivatives, as well as a mixture of soybean oil and oleic acid. According to the obtained results, the introduction of a material based on unmodified epoxy resin into a soil leads to a 2.2-fold decrease in the respiratory activity of the soil microbiocenosis compared to untreated soil samples. This proves that epoxy-diane resins or hardeners (aminophenol) inhibit soil microbiocenosis. In comparison with the action of unmodified epoxy resins, the epoxy resins treated with vegetable oils and their

oxygenated derivatives caused an increase in the respiratory activity of soil microbiocenosis, thus indicating the biodegradability of the materials under study. The decrease in the content of carboxylic acids in the composition of rubber tree oil after its epoxidation, which was confirmed by a decrease in the acid value, led to a slight decrease in the respiratory activity of soil microbiocenosis. For the same reason, the carbonation of vegetable oils had a similar effect. An improved biodegradation profile of epoxy materials following their modification was also confirmed by assessing their fungal resistance in terms of the number of the *Trichoderma* fungi. It was concluded that vegetable oils and their oxygenated derivatives increase the biodegradability of epoxy materials. Among all the studied compositions, the epoxy materials modified with rubber tree oil and a mixture of soybean oil and oleic acid demonstrated the highest level of biodegradability.

Keywords: epoxy polymer, vegetable oils, biodegradability, soil microbiocenosis, fungal resistance

For citation: Gotlib EN, Vdovina TV, Yamaleeva ES. Increasing the biodegradability of epoxy materials by means of vegetable oils and their oxygenated derivatives. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(4): 700–707. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из аспектов решения вопросов экологической безопасности является уменьшение объемов «полимерного мусора». Для решения этой задачи перспективно получение полимерных материалов, сохраняющих свои эксплуатационные характеристики на протяжении периода использования, а затем претерпевающих биологические и физико-химические превращения, происходящие под действием факторов окружающей среды и с легкостью включающиеся в процессы метаболизма природных систем [1].

Проблема утилизации после завершения срока эксплуатации является особенно актуальной для изделий из эпоксидных смол ввиду микробиологической стойкости этого типа полимеров [2].

Рост биоразлагаемости эпоксидных материалов может достигаться за счет модификации биоразлагаемыми природными добавками, способными в определенной степени инициировать распад основного полимера [3].

Добавками, придающими композитам способность к биоразложению, являются целлюлоза и ее производные, крахмал, растительные масла, а также отходы растительного производства, которые получают при переработке злаковых культур [4]. Цель настоящей работы заключалась в повышении биоразлагаемости под действием микроорганизмов почвы и мицелиальных грибов эпоксидных материалов, модифицированных растительными маслами и их кислородсодержащими производными.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения модифицированных композиций использовалась эпоксидная диановая смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), отвержденная аминоалкилфенолом (АФ-2) (ТУ 2494-052-00205423-2004). Содержание отвердителя определялось эквивалентным соотношением [эпоксигруппы]:[амин] и [циклокарбонаты]:[амин]. Отверждение проводилось при комнатной температуре в течение 7 суток.

В качестве модификаторов использовались:

- промышленное масло каучукового дерева (МКД), полученное из семян гевеи бразильской (*Hevea brasiliensis*), произрастающей на территории юга Вьетнама (TCVN 5374:2008);

- эпоксидированное масло каучукового дерева (ЭМКД), синтезированное по методике, описанной в работе [5];

- соевое масло (СМ) ГОСТ Р 53510-2009;

- эпоксидированное соевое масло (ЭСМ) (ТУ 0253-061-07510508-2012) с содержанием эпоксидного кислорода (ЭК) 6,2% масс.;

- циклокарбонат эпоксидированного масла каучукового дерева (ЦКЭМКД) с 95% конверсией эпоксигрупп в циклокарбонатные, синтезированного по методике, приведенной в работе [6];

- смесь соевого масла с олеиновой кислотой (СМ+ОК), в соотношении 3:1.

Оценку биоразлагаемости (биодоступности) материалов производили на основании изменения дыхательной активности почвы методом Штурма [7].

Оценку грибостойкости материалов осуществляли на основании стандартного метода лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов (ГОСТ 9.049-89).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценка изменения дыхательной активности микробиоценоза почвы в присутствии растительных масел и их кислородсодержащих производных показала, что эти соединения являются биодоступными для микроорганизмов. Наибольшее увеличение описываемого показателя имеет место в случае МКД и СМ+ОК (рис. 1). Это свидетельствует о том, что карбоновые кислоты эффективно используются микроорганизмами почвы в качестве субстрата. Снижение их содержания в составе МКД после эпоксидирования, на что указывает уменьшение кислотного числа [8], приводит к некоторому уменьшению дыхательной активности микробиоценоза почвы. Аналогичный эффект оказывает карбонизация по этой же причине. Дыхательная активность

микробиоценоза почвы в присутствии соевого масла заметно меньше, по сравнению с МКД, что также может быть связано с отсутствием в его составе свободных жирных кислот. Эпоксидирование СМ, в отличие от МКД, несколько увеличивает биоразлагаемость в почве. Вероятно, выявленная закономерность определена различным способом эпоксидирования этих растительных масел в промышленных и лабораторных условиях [9].

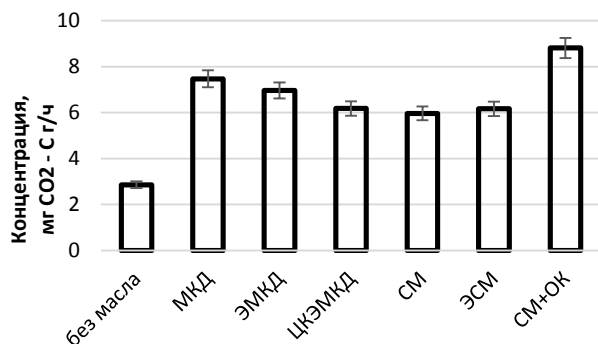


Рис. 1. Дыхательная активность почвы в присутствии растительных масел, их кислородсодержащих производных и смеси соевого масла с олеиновой кислотой

Fig. 1. Soil respiratory activity in the presence of vegetable oils, their oxygen-containing derivatives and a mixture of soybean oil with oleic acid

Результаты оценки изменения дыхательной активности микробиоценоза почвы в присутствии полимерных материалов на основе эпоксидной смолы, модифицированной растительными маслами и их кислородсодержащими производными, представлены на рис. 2.

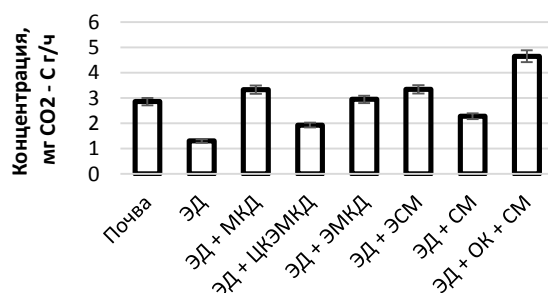


Рис. 2. Дыхательная активность почвы в присутствии полимерных материалов на основе эпоксидной смолы, не модифицированной и модифицированной маслом каучукового дерева, соевым маслом и их производными (содержание модификаторов 10 мас.ч на 100 мас.ч ЭД-20)

Fig. 2. Soil respiratory activity in the presence of polymeric materials based on epoxy resin, not modified and modified by rubber tree oil, soybean oil and their derivatives (modifiers content is 10 parts by weight per 100 parts by weight of ED-20)

Как показали проведенные исследования, внесение в почву материала, полученного на основе немодифицированной эпоксидной смолы (образец ЭД), приводит к снижению дыхательной активности почвенного микробиоценоза в 2,2 раза по сравнению с дыхательной активностью почвы без полимеров. Это свидетельствует о том, что эпоксидно-диановая смола или отвердитель аминифенол оказывают ингибирующее действие на микробиоценоз почвы [10-12].

Согласно полученным данным, модификация эпоксидной смолы МКД обуславливает увеличение дыхательной активности почвенного микробиоценоза в 2,5 раза по сравнению с дыхательной активностью почвы в присутствии немодифицированной эпоксидной смолы. На основании сказанного можно заключить, что МКД в качестве субстрата используется такими микроорганизмами почвы, как неспороносные палочки *Pseudomonas fluorescens*, многие аэробные и анаэробные бактерии (например, рр. *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*) и мицелиальные грибы (например, рр. *Penicillium*, *Aspergillus*) [13]. Биодegradуемость МКД обусловлена, вероятно, наличием в его структуре большого количества ненасыщенных жирных кислот, то есть двойных связей, не стойких к агрессивным воздействиям продуктов метаболизма микроорганизмов.

Использование в качестве модификатора эпоксидных материалов ЭМКД обуславливает незначительное снижение дыхательной активности почвы по сравнению с МКД (см. рис. 2).

В то же время модификация ЦКЭМКД обуславливает существенное уменьшение – в 1,8 раза, дыхательной активности почвенного микробиоценоза по сравнению с дыхательной активностью при модификации МКД (см. рис. 2). Это можно объяснить тем, что циклокарбонаты эпоксидированных растительных масел (ЦКЭРМ) способны образовывать в эпоксидной сетке гидроксиуретановые фрагменты, которые обуславливают рост поперечного сшивания эпоксидных материалов в результате взаимодействия модификаторов с аминными отвердителями и встраиванием их в эпоксидную сетку [14-16]. Исходя из этого можно сделать вывод, что микроорганизмам почвы сложнее разрушить структуру ЦКЭРМ и использовать их в качестве субстрата.

Следует отметить, что наблюдается хорошая корреляция данных, представленных на рис. 1 и 2. То есть растительные масла, которые наименее устойчивы к микроорганизмам почвы, обеспечивают и большее биоразложение модифицированных ими эпоксидных материалов.

Согласно полученным экспериментальным данным, модификация эпоксидной смолы соевым маслом обуславливает повышение дыхательной активности почвенного микробиоценоза в 1,8 раза по сравнению с дыхательной активностью почвы в присутствии немодифицированной

эпоксидной смолы. Это свидетельствует о том, что это растительное масло также используется в качестве питательного субстрата [10].

Полученные результаты согласуются с литературными данными об использовании группами микроорганизмов *Aspergillus niger*, *Penicillium*, *Endomycopsis fibuligera* растительных масел в качестве субстрата [10].

Интересно отметить, что МКД в значительно большей степени увеличивает биodeградируемость эпоксидных материалов при захоронении в почве по сравнению с соевым маслом. Это связано с наличием в его составе большего количества ненасыщенных жирных кислот. Действительно, литературные данные указывают на большее биоразложение соединений с двойными связями в молекуле [17, 18]. При этом использование в качестве модифицирующей добавки эпоксидированного соевого масла обуславливает увеличение выделения углекислого газа в 2,6 раза, что коррелирует с данными, представленными на рис. 1, эпоксидирование

соевого масла делает его более доступным в качестве субстрата.





Следует отметить, что эффект эпоксидирования СМ в большей степени оказывает влияние на биodeградируемость модифицированных им эпоксидных материалов, чем самого модификатора.

Использование в качестве модифицирующей добавки смеси соевого масла с олеиновой кислотой увеличивает дыхательную активность почвенного микробиоценоза в 4 раза по сравнению с немодифицированным материалом (см. рис. 2). Это также коррелирует с данными по биodeградируемости этой смеси (см. рис 1) и еще раз подтверждает положительное влияние ненасыщенных жирных кислот на биоразложение эпоксидных материалов.

Результаты оценки грибостойкости исследуемых эпоксидных материалов по степени развития плесневелых грибов рода *Trichoderma* представлены в табл. 1.

Таблица 1. Грибостойкость отвержденных АФ-2 эпоксидных материалов, модифицированных маслом каучукового дерева и его производными

Table 1. Fungal resistance of AF-2 cured epoxy materials modified with rubber tree oil and its derivatives

Образец	Средний балл	Характеристика	Внешний вид
Немодифицированная композиция	1	Под микроскопом виден слабо развитый мицелий белого цвета	
Модифицированная МКД	3	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов. Видны споры зеленого и белого цвета по всей поверхности образца	
Модифицированная ЭМКД	2	Виден зеленый мицелий в большей степени по краям образца. Под микроскопом виден слабо развитый мицелий белого цвета	
Модифицированная ЦКЭМКД	3	Невооруженным глазом виден мицелий зеленого цвета	

Примечание. Содержание модификаторов 10 мас.ч на 100 мас.ч ЭД-20¹.

¹Sierra G. A Simple method for the detection of lipolytic activity of microorganisms and some observations on the influence of the contact between cells and fatty substrates // Antonie van Leeuwenhoek. 1957. Vol. 23. P. 15–22.

Согласно представленным результатам, немодифицированная эпоксидная смола характеризуется высокой грибостойкостью, так как лишь при микроскопировании было обнаружено незначительное обрастание ее плесневелыми грибами рода *Trichoderma* [10]. При этом модификация МКД и его эпоксидированной производной увеличивает балл, отражающий степень деградации материалов под воздействием грибов, с 1 до 3 и 2 соответственно. Таким образом, имеет место увеличение биodeградируемости эпоксидных материалов под действием микромицетов, проявляющееся в большей степени при применении в качестве модификатора МКД (см. табл. 1).

Модификация ЦКЭМКД обуславливает грибостойкость в 3 балла. Это означает, что при визуальном наблюдении мицелий и споры слабо видны, но при микроскопировании наблюдается их развитие [19]. Следовательно, этот модификатор также обуславливает рост биоразложения эпоксидных материалов.

Проводя сравнение данных по дыхательной активности почвы и оценке грибостойкости эпоксидных материалов в зависимости от их состава, можно говорить о том, что образцы, модифицированные МКД, используются микроорганизмами в качестве субстрата и являются биодоступными

для них.

В табл. 2. представлены результаты оценки степени развития грибов рода *Trichoderma* на образцах эпоксидных материалов, модифицированных соевым маслом и его эпоксидированной производной.


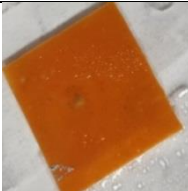
На основании полученных экспериментальных данных, представленных в табл. 2, можно сделать заключение, что модификация СМ не увеличивает биodeградируемость эпоксидных материалов под действием мицелиальных грибов по сравнению с немодифицированным полимером в отличие от МКД (см. табл. 1).

В то же время ЭСМ повышает биоразложение по сравнению с модификацией СМ. В этом случае средний балл 3, то есть на том же уровне, что для композиций с МКД и циклокарбонатом на его основе.

Подобные результаты наблюдаются и при определении дыхательной активности почвы (см. рис. 2). ЭСМ показало лучший результат по биodeградируемости под действием мицелиальных грибов по сравнению с немодифицированной эпоксидной смолой, а также эпоксидной смолой, модифицированной СМ. Этот показатель достигается на уровне эпоксидной композиции, модифицированной МКД [20].

Таблица 2. Грибостойкость отвержденных АФ-2 эпоксидных материалов, модифицированных соевым маслом и эпоксидированным соевым маслом

Table 2. Fungal resistance of AF-2 cured epoxies modified with soybean oil and epoxidized soybean oil

Образец	Средний балл	Характеристика	Внешний вид
СМ	1	Под микроскопом виден слабо развитый мицелий	
ЭСМ	3	Невооруженным глазом видны споры и мицелий зеленого и черного цвета, рост не очень активный	

Примечание. Содержание модификаторов 10 мас.ч на 100 мас.ч ЭД-20¹.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что эпоксидная смола и аминофенольный отвердитель не используются микроорганизмами почвы в качестве субстрата. Но при этом как соевое, так и масло каучукового дерева и их функционализированные производные являются биодоступными для них.

Установлено, что из всех исследованных ва-

риаций составов наибольшей биоразлагаемостью характеризуются эпоксидные материалы, модифицированные маслом каучукового дерева и смесью соевого масла с олеиновой кислотой. Следовательно, наличие в рецептуре эпоксидных композиций ненасыщенных жирных кислот ускоряет их биоразложение в почве после окончания срока службы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомин В.А., Гузев В.В. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования // Пластические массы. 2001. N 2. С. 42–48.
2. Рыбкина С.П., Пахаренко В.А., Шостак Т.С.,

- Пахаренко В.В. Основные направления в области создания биоразлагаемых термопластов // Пластические массы. 2008. N 10. С. 47–54.
3. Костин А. Биопластики: перспективы в

России // Пластикс. 2015. N 3 (143). С. 44–50. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plastics.ru/pdf/journal/2015/03/Kostin.pdf> (30.09.2020)

4. Прохоренко С.В., Иванчева А.Д. Состояние и проблемы утилизации полимерных материалов // Полимеры-деньги. 2007. N 4. С. 27–32.

5. Милославский Д.Г., Ахмедьянова Р.А., Турманов Р.А., Кочнев А.М., Харлампики Х.Э., Дык В.М. [и др.]. Влияние природы растительных масел на процесс их эпоксидирования пероксидом водорода в присутствии пероксофосфатовольфраматной каталитической системы // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. N 18. С. 25–28.

6. Kozhevnikov I.V., Mulder G.P., Steverink-de Zoete M.C., Oostwal M.G. Epoxidation of oleic acid catalyzed by peroxo phosphotungstate in a two-phase system // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 1998. Vol. 134. Issue 1-3. P. 223–228 [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(98)00039-9)

7. Abdou A.M. Purification and partial characterization of psychrotrophic *Serratia marcescens* lipase // Journal of Dairy Science. 2003. Vol. 86. Issue 1. P. 127–132. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73591-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73591-7)

8. Gotlib E., Nguyen L., Yanov V., Sokolova A. Study of resistance to climatic factors of epoxy coatings modified by plant oils and their functionalized derivatives // E3S Web of Conferences. XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019) 2019. Vol. 97. 6 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702002>

9. Patil H., Waghmare J. Catalyst for epoxidation of oils: a review // Discovery. 2013. Vol. 3. Issue 7. P. 10–14.

10. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Малахов К.С. Получение биодизельного топлива из растительных масел // Достижения науки и техники АПК. 2009. N 12. С. 58–59.

11. Gotlib E., Nya H.P.T., Nguyen T.L.A., Sokolova A.G., Yamaleeva E., Musin I. Agricultural by-products as advanced raw materials for obtaining modifiers and fillers for epoxy materials // Key Engineering Materials. 2019. Vol. 822. P. 343–349. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.822.34>

12. Готлиб Е.М., Рахматуллина А.П., Нгуен Т.Л.А., Чан Х.Т., Ха Т.Н.Ф. Отходы сельскохозяйственного производства – перспективное сырье

для химической промышленности: монография. Германия: Lambert Academic Publishing, 2019. 209 с.

13. İlkiliç C., Yücesu H.S. Investigation of the effect of sunflower oil methyl ester on the performance of a diesel engine // Energy Sources. 2006. Vol. 27. Issue 13. P. 1225–1234. <https://doi.org/10.1080/009083190519311>

14. Becker P., Köster D., Popov M.N., Markosian S., Antranikian G., Märkl H. The biodegradation of olive oil and the treatment of lipid-rich wool scouring wastewater under aerobic thermophilic conditions // Water Research. 1999. Vol. 33. Issue 3. P. 653–660. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00253-X)

15. Готлиб Е.М., Черезова Е.Н., Ильичева Е.С., Медведева К.А. Эпоксидные сополимеры. Отверждение, модификация, применение в качестве клеев: монография. Казань: Изд-во КНИТУ. 2014. 116 с.

16. Готлиб Е.М., Милославский Д.Г., Медведева К.А., Хасанова А.Р., Черезова Е.Н. Эпоксидные клеи, модифицированные циклокарбонатами // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. N 21. С. 74–76.

17. Meier M.A.R., Metzger J.O., Schubert U.S. Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science // Chemical Society Reviews. 2007. Vol. 36. Issue 11. P. 1788–1802. <https://doi.org/10.1039/B703294C>

18. Il'icheva E.S., Khusainov A.D., Cherezova E.N., Gotlib E.M. High-molecular-weight modifiers with graft anhydride and imide groups: Effect on the adhesion, rheological, and physicomechanical properties of rubber compounds // International Polymer Science and Technology. 2015. Vol. 42. Issue 6. P. T/17–T/20.

19. Wang Z.-Y., Xu Y., Wang H.-Y., Zhao J., Gao D.-M., Li F.-M. et al. Biodegradation of crude oil in contaminated soils by free and immobilized microorganisms // Pedosphere. 2012. Vol. 22. Issue 5. P. 717–725. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60057-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60057-5)

20. Abduh M.Y., Igbal M., Picchioni F., Manurung R., Heeres H.J. Synthesis and properties of cross-linked polymers from epoxidized rubber seed oil and triethylenetetramine // Journal of Applied Polymer Science. 2015. Vol. 132. Issue 40. 12 p. <https://doi.org/10.1002/app.42591>

REFERENCES

1. Fomin VA, Guzeev VV. Biodegradable polymers, state and perspective of use. *Plasticheskiye massy*. 2001;2:42–45. (In Russian)

2. Rybkina SP, Pakharensky VA, Shostak TS. The main directions in the field of creating biodegradable thermoplastics. *Plasticheskiye massy*. 2008;10:47–54. (In Russian)

3. Kostin A. Bioplastics: prospects in Russia. *Plastiks*. 2015;3:44–50. Available from: <https://www.plastics.ru/pdf/journal/2015/03/Kostin.pdf> [Accessed 30th September 2020]. (In Russian)

4. Prokhorenko SV, Ivancheva AD. State and problems of utilization of polymeric materials. *Po-limery-den'gi*. 2007;4:27–32. (In Russian)

5. Miloslavskii DG, Akhmedyanova RA, Turmanov RA, Kochnev AM, Kharlampidi KE, Duc VM, et al. Influence of vegetable oils nature on the process of their epoxidation with hydrogen peroxide

in the presence of a peroxophospho-tungstate catalytic system. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2015;18(18):25-28. (In Russian)

6. Kozhevnikov IV, Mulder GP, Steverink-de Zoete MC, Oostwal MG. Epoxidation of oleic acid catalyzed by peroxo phosphotungstate in a two-phase system. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 1998;134(1-3):223-228
[https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(98)00039-9)

7. Abdou AM. Purification and partial characterization of psychrotrophic *Serratia marcescens* lipase. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(1):127-132.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73591-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73591-7)

8. Gotlib E, Nguyen L, Yanov V, Sokolova A. Study of resistance to climatic factors of epoxy coatings modified by plant oils and their functionalized derivatives. *E3S Web of Conferences*. XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019) 2019;97. 6 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702002>

9. Patil H, Waghmare J. Catalyst for epoxidation of oils: a review. *Discovery*. 2013;3(7):10-14.

10. Zazulya AN, Nagornov SA, Romantsova SV, Malakhov KS. Reception biofuel from vegetable oils. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2009;12:58-59. (In Russian)

11. Gotlib E, Nya HPT, Nguyen TLA, Sokolova AG, Yamaleeva E, Musin I. Agricultural by-products as advanced raw materials for obtaining modifiers and fillers for epoxy materials. *Key Engineering Materials*. 2019;822:343-349. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.822.343>

12. Gotlib EM, Rakhmatullina AP, Nguyen TLA, Chan HT, Ha TNF. *Agricultural waste is a promising raw material for the chemical industry*. Germany: Lambert Academic Publishing; 2019. 209 p. (In Russian)

13. İlkiliç C, Yücesu HS. Investigation of the effect of sunflower oil methyl ester on the performance of a diesel engine. *Energy Sources*.

2006;27(13):1225-1234. <https://doi.org/10.1080/009083190519311>

14. Becker P, Köster D, Popov MN, Markossian S, Antranikian G, Märkl H. The biodegradation of olive oil and the treatment of lipid-rich wool scouring wastewater under aerobic thermophilic conditions. *Water Research*. 1999;33(3):653-660. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00253-X)

15. Gotlib EM, Cherezova EN, Il'icheva ES, Medvedeva KA. *Epoxy copolymers, curing, modification, use as adhesives*. Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo natsional'nogo issledovatel'skogo tekhnologicheskogo universiteta; 2014. 116 p. (In Russian)

16. Gotlib EM, Miloslavskiy DG, Medvedeva KA, Khasanova AR, Cherezova EN. Epoxy adhesives modified with cyclocarbonates. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2015;18(21):74-76. (In Russian)

17. Meier MAR, Metzger JO, Schubert US. Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science. *Chemical Society Reviews*. 2007;36(11):1788-1802. <https://doi.org/10.1039/B703294C>

18. Il'icheva ES, Khusainov AD, Cherezova EN, Gotlib EM. High-molecular-weight modifiers with graft anhydride and imide groups: Effect on the adhesion, rheological, and physicomechanical properties of rubber compounds. *International Polymer Science and Technology*. 2015;42(6):T/17-T/20.

19. Wang Z-Y, Xu Y, Wang H-Y, Zhao J, Gao D-M, Li F-M. et al. Biodegradation of crude oil in contaminated soils by free and immobilized microorganisms. *Pedosphere*. 2012;22(5):717-725. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60057-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60057-5)

20. Abduh MY, Igbal M, Picchioni F, Manurung R, Heeres HJ. Synthesis and properties of cross-linked polymers from epoxidized rubber seed oil and triethylenetetramine. *Journal of Applied Polymer Science*. 2015;132(40). 12 p. <https://doi.org/10.1002/app.42591>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Готлиб Елена Михайловна,
д.т.н., профессор кафедры технологии
синтетического каучука,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68,
Российская Федерация,
✉ e-mail: egotlib@yandex.ru

Вдовина Татьяна Владимировна,
к.т.н., доцент кафедры промышленной
биотехнологии,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68,
Российская Федерация,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena M. Gotlib,
Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Department of Synthetic Rubber Technologies,
Kazan National Research Technological
University,
68, K. Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
✉ e-mail: egotlib@yandex.ru

Tatyana V. Vdovina,
Cand. Sci (Engineering),
Associate Professor,
Department of Industrial Biotechnology,
Kazan National Research Technological
University,
68, K. Marx St., Kazan, 420015,

e-mail: tvkirilina@gmail.com

Russian Federation,
e-mail: tvkirilina@gmail.com

Ямалеева Екатерина Сергеевна,
К.т.н., доцент кафедры медицинской
инженерии,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68,
Российская Федерация,
e-mail: curls888@yandex.ru

Ekaterina S. Yamaleeva,
Cand. Sci (Engineering),
Associate Professor,
Department of Medical Engineering,
Kazan National Research Technological
University,
68, K. Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
e-mail: curls888@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*Статья поступила в редакцию 22.10.2020;
одобрена после рецензирования 19.11.2020;
принята к публикации 30.11.2020.*

*The article was submitted 22.10.2020;
approved after reviewing 19.11.2020;
accepted for publication 30.11.2020.*