

Масло семян каучукового дерева и натуральный каучук в качестве биodeградирующих добавок для полипропиленовых композиций с укороченным циклом жизни

Владислав В. Янов ¹	vladyanoff@ya.ru	 0009-0003-1424-5754
Лина И. Гатаулина ¹	raudeeva@mail.ru	 0009-0003-5488-4905
Ладимира В. Носова ¹	ladimira.nosova@mail.ru	 0009-0006-9503-4730
Любовь А. Зенитова ¹	liubov_zenitova@mail.ru	 0009-0009-0651-695X

1 Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д.68, Казань, 420015, Россия

Аннотация. Работа касается исследований по использованию продуктов растительного происхождения в качестве биodeградирующих добавок в композициях на основе полипропилена. Полипропилен является синтетическим материалом не подвергающимся процессам биodeградации. Натуральный каучук - продукт, получаемый из млечного сока дерева «*Hevea Brasiliensis*», в природе не накапливается из-за присутствия в его составе белков и фосфолипидов, которые способствуют его деградации. В исследовании для получения биodeградируемых композиций в полипропилен добавлялись неочищенный натуральный каучук (НК-Н) и масло семян каучукового дерева (МСКД). Определена склонность к биodeградации исследуемых композиций методами оценки шероховатости поверхности, краевого угла смачивания и водопоглощения. Выявлено, что использование неочищенного натурального каучука в количествах до 15% масс., масла семян каучукового дерева до 5% масс. и их смесей в суммарном количестве до 10% масс. приводит к существенному увеличению шероховатости поверхности. Масло семян каучукового дерева, выполняя функцию пластификатора, распределяется в полипропилене более равномерно, чем натуральный каучук, что снижает выраженность шероховатости образцов. Методом лежащей капли оценивали гидрофильность композиций с биodeградирующими добавками. С увеличением количества введенного неочищенного натурального каучука краевой угол смачивания падает и при содержании неочищенного натурального каучука 15% масс. составляет 66° против 85° для чистого полипропилена. Совместное введение НК-Н и МСКД закономерно увеличивает гидрофильность композита, но в меньшей степени, по сравнению с введением одного НК-Н в том же количестве. Было оценено поведение полипропилена и его композиций с неочищенным натуральным каучуком и маслом семян каучукового дерева после 25 месяцев экспозиции в водной среде. С увеличением количества введенного каучука происходит существенная потеря массы композита. Введение в полипропилен смеси 5% масс. неочищенного натурального каучука и 5% масс. масла семян каучукового дерева через 13 месяцев экспозиции в водной среде привело к уменьшению его массы на 71%.

Ключевые слова: масло семян каучукового дерева, неочищенный натуральный каучук, полипропилен, биodeградация, шероховатость, краевой угол смачивания, водопоглощение.

Rubber tree seed oil and natural rubber as biodegradable additives in polypropylene-base compositions with a shortened life cycle

Vladislav V. Yanov ¹	vladyanoff@ya.ru	 0009-0003-1424-5754
Lina I. Gataullina ¹	raudeeva@mail.ru	 0009-0003-5488-4905
Ladimira V. Nosova ¹	ladimira.nosova@mail.ru	 0009-0006-9503-4730
Liubov A. Zenitova ¹	liubov_zenitova@mail.ru	 0009-0009-0651-695X

1 Kazan National Research Technological University, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. The work focuses on the use of plant-based products as biodegradable additives in polypropylene-based compositions. Polypropylene is a synthetic material that does not undergo biodegradation. Natural rubber, a product obtained from the milky sap of the «*Hevea Brasiliensis*» tree, does not accumulate in the environment due to the presence of proteins and phospholipids that promote its biodegradation. In the study, unpurified natural rubber (UNR) and rubber tree seed oil (RSO) were added to polypropylene to obtain biodegradable compositions. The biodegradability of the investigated compositions was evaluated using methods for assessing surface roughness, contact angle and water absorption. It was found that the use of unpurified natural rubber in amounts of up to 15% by weight, rubber tree seed oil up to 5% by weight and their mixtures in a total amount of up to 10% by weight leads to a significant increase in surface roughness. The rubber tree seed oil, acting as a plasticizer, is distributed within polypropylene more uniformly than natural rubber, which reduces the pronounced surface roughness of the samples. The hydrophilicity of the compositions containing biodegradable additives was evaluated using the sessile drop method. With increasing content of unpurified natural rubber, the contact angle decreases, reaching 66° at a content of 15% by weight UNR compared to 85° for neat polypropylene. The combined incorporation of UNR and RSO increases the hydrophilicity of the composite, however, this effect is less pronounced than that observed when UNR is introduced alone in the same amount. The behavior of polypropylene and its compositions containing unpurified natural rubber and rubber tree seed oil after 25 months of exposure in an aqueous environment was also evaluated. With an increase in the amount of introduced unpurified natural rubber, there is a significant mass loss of the composite. The introduction of a mixture of 5% by weight unpurified natural rubber and 5% by weight of rubber tree seed oil into polypropylene resulted in a 71% mass reduction after 13 months of exposure in an aqueous environment.

Keywords: rubber tree seed oil, unpurified natural rubber, polypropylene, biodegradation, surface roughness, contact angle, water absorption.

Для цитирования

Янов В.В., Гатаулина Л.И., Носова Л.В., Зенитова Л.А. Масло семян каучукового дерева и натуральный каучук в качестве биodeградирующих добавок для полипропиленовых композиций с укороченным циклом жизни // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 1. С. 291–298. doi:10.20914/2310-1202-2026-1-291-298

For citation

Yanov V.V., Gataullina L.I., Nosova L.V., Zenitova L.A. Rubber tree seed oil and natural rubber as biodegradable additives in polypropylene-base compositions with a shortened life cycle. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 1. pp. 291–298. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-1-291-298

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Современная экологическая ситуация в части накопления отходов изделий из полимеров обусловила развитие исследований и разработок, направленных на создание биоразлагаемых материалов.

В результате возникают, казалось бы, разнонаправленные, но фактически связанные между собой задачи для производителей: получить высокопрочные и долговечные материалы, исключив их деструкцию в процессе эксплуатации, но при этом ускорить биоразложение после завершения срока службы изделий во избежание загрязнения окружающей среды [1].

В качестве методов оценки предрасположенности материалов к биокоррозии применяют измерение молекулярной массы, потери массы, прочностных показателей, степени кристалличности, изменения степени гидрофобности, водопоглощения, шероховатости и др. [2].

Известно, что шероховатость поверхности материала влияет на его склонность к биodeградации. Шероховатость увеличивает площадь поверхности материала и, как следствие, повышается возможность воздействия различных сред и их фиксацию в зоне впадин. Также повышенная шероховатость увеличивает потенциальную возможность микробов и грибов, способствующих биоразложению, закрепляться на такой поверхности. Оценка склонности к биodeградации по состоянию поверхности материала проводилась многими исследователями [3].

В работе [4] разработаны деградируемые композиции на основе поливинилхлорида (ПВХ), наполненные до 15% масс. бентонитом, пектином и крахмалом, предназначенные для применения в качестве упаковки. Используемые наполнители увеличивают шероховатость поверхности, что позволило создать деградируемые ПВХ материалы с укороченным жизненным циклом.

Кроме того, склонность к биodeградации можно оценить по способности материала смачиваться жидкостью. Отмечено, что материалы с гидрофильной поверхностью в большей степени склонны к биоразложению. Угол, образованный между твердой поверхностью и касательной к поверхности капли, характеризует способность тела смачиваться. Увеличение его значения приводит к потере смачивающей способности, уменьшение – к восстановлению способности смачивать поверхность. В работе [5] при исследовании биоразлагаемых соединений яблочной кислоты и ее эфиров установлено, что увеличение числа фрагментов яблочной кислоты в структуре полиэфира на стадии синтеза повышает гидрофильность сополимера, что увеличивает скорость деградации.

Авторы [6] исследовали смеси сополиамида в водной среде. Отмечено, что при наполнении этих сополимеров полисахаридами увеличивается способность смачиваться водой и набухать в ней. То есть материалы становятся гидрофильными. Последнее способствует их биodeградации.

При этом отмечено, что [7] выделение углекислого газа, оцененное методом хроматографии, и потеря массы пленок при помещении их в стандартную почву согласуется с оценкой их гидрофильности и стойкости к водопоглощению.

Кроме вышеперечисленных методов ценную информацию по склонности к биodeградации дает определение водопоглощения материала, так как проникновение воды обеспечивает доступ микроорганизмов к наполнителю и инициирует процессы биodeградации.

Водопоглощение также может служить маркером способности материалов к биоразложению. Материалы с высокими показателями водопоглощения более биодоступны для микроорганизмов.

В работе [8] приводятся исследования водопоглощения двойных композиционных пленок на основе полилактида и крахмала, полилактида и микроцеллюлозы. Выявлено, что полученные композиции являются биоразлагаемыми системами, что подтверждается их неустойчивостью к воздействию воды, плесневых грибов, потерей массы при экспонировании в почве, а также данными СЭМ и ИК-Фурье-спектроскопии.

В статье [9] методом водопоглощения оценивались биоразложение пленок на основе природных полисахаридов. В работе [10] исследовано влияние содержания термически модифицированного рисового крахмала (5–55% масс.) на водопоглощающие свойства биоразлагаемых композитов на основе полиэтилена низкой плотности / крахмал / моностеарат глицерина. Высокое водопоглощение обусловлено формированием непрерывной гидрофильной фазы, что обеспечивает потенциальную биоразлагаемость материала и возможность его применения в экологически безопасных упаковочных технологиях.

Исследование [11] приводит анализ свойств биоразлагаемых и синтетических полимерных материалов. Сравнение физико-механических и других показателей, в том числе водопоглощения, для рассмотрения возможности упрочнения материалов выявило преимущества и недостатки изучаемых материалов.

В статье [12] исследователи показали возможность и целесообразность получения и применения древеснонаполненного полилактида.

Значительное увеличение показателей водопоглощения за 24 часа и 30 суток, может оказывать положительное влияние на степень биоразложения древеснонаполненного полилактида.

В работе [13] исследовались кинетика водопоглощения композиционных пленок на основе полиэтилена низкой плотности с термопластичным крахмалом. Степень биоразложения для исследуемых смесевых составов при нахождении в био-гумусе увеличивается в среднем на 20–30%.

Таким образом, совокупность методов: водопоглощение, определение гидрофильности по краевому углу смачивания и шероховатости поверхности дает возможность оценить склонность материала к биоразложению.

Ранее на примере различных небактериальных полимеров (стеклонаполненный полиамид, полиэтилен и полипропилен) было показано, что использование неочищенного натурального каучука (НК-Н) в качестве биодegradирующей добавки в количествах до 15% масс. приводит к существенной деградации композитов [14]. Оценка поведения данных полимерных композиций по отношению к плесневым грибам выявила их склонность к биокоррозии из-за присутствия НК-Н.

При нахождении исследуемых композиций в био-гумусе за полгода наибольшей деградации подверглись композиции ПЭВД + 10% масс. НК, что свидетельствует о способности натурального каучука ускорять биодegradацию полимерных композиций с его использованием [15–18]. Также показано, что НК-Н, содержащий значительное количество фосфолипидов и белков в отличие от очищенного аналога, является более активным биодegradирующим компонентом [19].

В продолжение ранее начатых работ целью настоящего исследования было использовать в качестве биодegradирующего компонента не только натуральный каучук-продукт, полученный из дерева «Nevea Brasiliensis», но и масло семян каучукового дерева (МСКД) [20]. Потенциально оба эти продукта, содержащие фосфолипиды и белки, могут существенно снизить жизненный цикл полипропиленовых композиций с их использованием.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовался полипропилен (ПП) производства ООО «Омский завод полипропилена» марки РР Н 030GP 38/01–17 С30В. В качестве биодegradирующих добавок – неочищенный от некаучуковых компонентов натуральный каучук (НК-Н) марки SMR-10 (Вьетнам) и масло семян каучукового дерева (МСКД) (Вьетнам). Оценка шероховатости проводилась по ГОСТ 2789–73

с помощью лазерного сканирующего 3D-микроскопа Olympus LEXT OLS5100.

В таблице 1 приведено количество введенных в полипропилен неочищенного натурального каучука и масла семян каучукового дерева. ПКМ готовились путем смешения полипропилена с добавками в смесителе Брабенери EN 60204–1620061 А 1:2009 при температуре 190 °С. Пленки изготавливали на прессе GT-7014-H10C по ГОСТ 12019–66 при температуре 190 °С, давление 20 МПа; нагревание 10 мин., выдержка под давлением 10 мин., охлаждение 5 мин.

Таблица 1.

Рецептура композиций на основе ПП с биодegradирующими добавками

Table 1.

Formulation of polypropylene (PP) compositions containing biodegradable additives

Образец Sample	Содержание, %масс. Content, % mass		
	ПП	НК-Н	МСКД
0	100,0	0	0
1	99,0	1,0	0
2	95,0	5,0	0
3	92,5	7,5	0
4	90,0	10,0	0
5	85,0	15,0	0
6	99,0	0	1,0
7	97,0	0	3,0
8	95,0	0	5,0
9	99,0	0,5	0,5
10	95,0	2,5	2,5
11	90,0	5,0	5,0

Шероховатость поверхности – сумма микронеровностей, отличающаяся от идеальной поверхности в мкм (рис. 1)

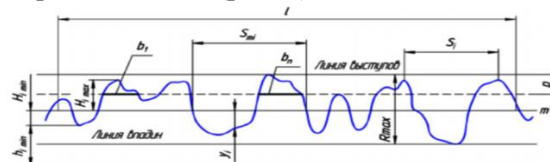


Рисунок 1. Шероховатая поверхность

Figure 1. Rough surface

Базовая линия l – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Средняя линия профиля m – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, чтобы в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии было минимальным.

Линия выступов профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия впадин профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

В таблице 2 приведены условные обозначения параметров шероховатости с их описанием.

Таблица 2.

Условные обозначения параметра шероховатости и их описание

Table 2.

Surface roughness parameter and their descriptions

Параметр Index	Наименование Name	Группа параметра Group	Определение Description
Ra	Среднее арифметическое отклонение профиля	Высотная	Среднее арифметическое абсолютных значений (значений по модулю) отклонений профиля в пределах базовой длины
Rz	Высота неровностей профиля по 10 точкам		Сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины
R _{max}	Наибольшая высота поверхностей профиля		Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины
S _m	Средний шаг неровностей профиля	Шаговая	Среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины
S	Средний шаг неровностей профиля по вершинам		Среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины
t _p	Относительная опорная длина профиля	Параметр формы	Отношение опорной длины профиля к базовой длине, где "p" – значение уровня сечения профиля

Параметры шероховатости определяли тремя параллельными опытами и подсчитывали среднее значение из трех.

Оценка краевого угла смачивания проводилась на приборе Kruss DSA100 по ГОСТ 7934.2–74 Масла часовые. Метод определения краевого угла смачивания. Проводили три параллельных опыта. Конечным результатом являлось среднее значение.

Склонность материалов к водопоглощению проводилась по ГОСТ 4650–2014 ISO 62:2008.

Результаты и обсуждение

В таблице 3 приводятся результаты измерений шероховатости поверхности композиций по площади.

Таблица 3.

Результаты измерений шероховатости поверхности композиций по базовой линии

Table 3.

The results of surface roughness measurements of the compositions along the baseline

Образец Sample	Sz _{cp} , мкм	Sa _{cp} , мкм
0	0,969	0,229
1	0,781	0,232
2	1,070	0,378
3	1,295	0,310
4	0,382	0,103
5	0,914	0,192
6	0,911	0,190
7	0,675	0,159
8	0,749	0,228
9	0,734	0,158
10	0,634	0,139
11	2,372	0,495

Видно, что Sa_{cp} и Sz_{cp} меняются в зависимости от количества и качества введенных добавок. Так для образцов 0–5 с ростом количества введенного НК-Н в ПП Sa_{cp} и Sz_{cp} меняются по закону случая. А введение МСКД в ПП (образцы 6–8) незначительно снижает Sz_{cp}.

Совместное введение МСКД и НК-Н (образцы 9–11) однозначно увеличивает оба параметра с ростом количества введенных добавок в большей степени, чем каждая по отдельности.

В таблице 4 приведены результаты измерений шероховатости поверхности композиций по линии выступов и впадин.

Таблица 4.

Результаты измерений шероховатости поверхности композиций по базовой линии

Table 4.

Results of surface roughness measurements of the compositions along the baseline

Образец Sample	Rz _{cp} , мкм	Ra _{cp} , мкм	Rz _{max} , мкм	Rz _{min} , мкм	Ra _{max} , мкм	Ra _{min} , мкм
0	0,512	0,061	0,719	0,356	0,072	0,051
1	0,687	0,093	0,959	0,574	0,113	0,073
2	0,648	0,083	1,030	0,503	0,110	0,062
3	1,899	0,228	1,077	1,009	0,127	0,137
4	0,869	0,106	2,355	1,100	0,123	0,130
5	1,876	0,334	3,378	1,184	0,436	0,234
6	0,600	0,061	0,763	0,101	0,101	0,068
7	0,738	0,097	0,922	0,498	0,115	0,078
8	0,843	0,108	0,938	0,655	0,146	0,089
9	0,762	0,099	0,962	0,590	0,111	0,084
10	1,011	0,156	1,176	0,770	0,187	0,136
11	0,787	0,105	1,133	0,093	0,129	0,093

Тут изменение шероховатости значительно ощутимее. Введение НК-Н в ПП приводит к росту Rz_{cp} и Ra_{cp} с его увеличением (образцы 0–5). Также в пределах повышения дозировки НК-Н до 7,5–10,0% масс. увеличиваются параметры Rz_{max} , Rz_{min} , Ra_{max} и Ra_{min} .

Однозначно растут параметры шероховатости при введении в ПП МСКД (образцы 6–8). Совместное использование НК-Н и МСКД в образцах 9 и 10 также увеличивают шероховатость, а в количествах 5% масс. НК-Н и 5% МСКД это изменение не так заметно.

Изменение структуры поверхности образцов приведено на рисунке 2.

Увеличение количества НК-Н в композиции с ПП приводит к неоднородности материала (Образцы 0, 3, 5). Однако сплошности каучуковой фазы не достигается. МСКД (образцы 7 и 8) распределяется в ПП более равномерно и, основываясь на данных таблиц 3 и 4, шероховатость этих образцов менее выражена. Возможно МСКД, действуя как пластификатор, распределяется в композиции более равномерно, несколько нивелируя шероховатость. Интересно влияние совместного введения МСКД и НК-Н. Композиция кажется более однородной, вероятно, из-за действия МСКД, выполняющего роль пластификатора, облегчая равномерное распределение НК-Н в композиции. Таким образом, введение НК-Н и МСКД в общем случае увеличивает шероховатость композиций на основе ПП, что создает благоприятную ситуацию для биодеградации композиций с их использованием.

Далее методом лежащей капли оценивали гидрофильность композиций с биодеградирующими добавками.

Выявлено, что ПП (образец 0) имеет краевой угол смачивания (θ) 85° , что находится на нижней границе для данного материала, смачиваемость которого может колебаться в пределах 85 – 105° [21]. С увеличением количества введенного НК-Н θ падает и при НК-Н 15% масс. (образец 5) составляет 66° (рисунок 3, а). Также снижается θ композиции ПП с МСКД. Однако, так как МСКД представляет собой масло с выраженными водоотталкивающими свойствами, то краевой угол смачивания меняется незначительно, а при содержании МСКД 5% масс. краевой угол смачивания становится выше, чем чистого полипропилена 88° против 85° соответственно (рисунок 3, б). ПП со смесью МСКД + НК-Н также гидрофилен (рисунок 3, в). При этом существенное изменение θ

в сторону увеличения гидрофильности наблюдается у композита, содержащего смесь МСКД и НК-Н в суммарном количестве 10% масс. И величина краевого угла смачивания, то есть гидрофильность композиции, соизмерима с гидрофильностью композита, содержащего НК-Н 10% масс. (образец 4 и 11). Однако, как показали дальнейшие исследования, это приводит к существенному снижению прочностных показателей и гидrolитической стабильности. Совместное введение НК-Н и МСКД закономерно увеличивает гидрофильность композита, но в меньшей степени, нежели введение одного НК-Н в том же количестве (образец 11 и 4).

Эти данные также, как и определение шероховатости указывают на то, что исследуемые биодеградирующие добавки способствуют увеличению гидрофильности композиции и, как следствие, потенциально увеличивают их предрасположенность к биодеградации.

Ранее оценивалась склонность к водопоглощению композиций на основе ПП, НК-Н и МСКД [20,22], а также их органолептические показатели. Было установлено, что введение в полипропилен деструктирующих добавок в концентрациях выше 15% масс. для неочищенного натурального каучука и выше 3% масс. для масла семян каучукового дерева, а также для смесей неочищенного натурального каучука с маслом семян каучукового дерева в исследуемых концентрационных пределах незначительно – на один балл ухудшает гигиенические показатели композиций с их использованием. При этом водопоглощение композитов, оцененное в течение 7 суток с использованием исследуемых добавок, незначительно, не более 0,8% масс.

В данной работе было оценено поведение самого полипропилена и его композиций с НК-Н и МСКД после 25 месяцев экспозиции в воде (таблица 5).

Из данных таблицы 5 видно, что с увеличением количества введенного НК-Н (образцы 0–5) происходит существенная потеря массы композита. Кроме того, на внутренней поверхности крышки контейнера для образцов появляется налет от желтого до коричневого цвета, а сами образцы белеют и становятся хрупкими. Введение в ПП МСКД также приводит к потере массы композитов тем больше, чем значительнее количество введенного МСКД. Наибольшая потеря массы наблюдается у композита при совместном введении НК-Н и МСКД и составляет за период экспозиции 71% масс.

Таблица 5.

Потеря массы композитов за 25 месяцев экспозиции в воде

Table 5.

Mass loss of the composites after 25 months of water exposure

Образец Sample	Содержание, % масс. Content, % mass			Потеря массы, % Mass loss	Вид образца и среды View
	ПП	НК-Н	МСКД		
0	100,0	0	0	0	Вода слегка помутнела The water has become slightly cloudy.
1	99,0	1,0	0	26	Вода мутная с зеленой, образец побелел The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
2	95,0	5,0	0	35	Вода мутная с зеленой, образец побелел The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
3	92,5	7,5	0	38	Вода мутная с зеленой, на крышке коричневый налет The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
4	90,0	10,0	0	52	Вода мутная с зеленой, образец побелел, на крышке коричневый налет The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
5	85,0	15,0	0	58	Вода мутная, образец побелел с желтым налетом, хрупкий The water is cloudy, the sample has turned white with a yellow tint, and is brittle.
6	99,0	0	1,0	8	Вода чистая, крышка с коричневым налетом, образец без изменений The water is clear, the lid has a brown tint, the sample is unchanged.
7	97,0	0	3,0	19	Вода чистая, запах крайне резкий, крышка с коричневым налетом без изменений The water is clear, the odor is extremely strong, the lid has a brown tint, is unchanged.
8	95,0	0	5,0	52	Вода мутная с зеленой, образец побелел The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
9	99,0	0,5	0,5	18	Вода мутная с зеленой, образец без изменений The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
10	95,0	2,5	2,5	41	Вода мутная с зеленой, образец побелел, хрупкий The water is cloudy with green tint, the sample has turned white.
11	90,0	5,0	5,0	71	Вода мутная с наибольшим количеством зелени, образец побелел, хрупкий, сломался, крышка с почти черным налетом The water is cloudy with the most green tint, the sample has turned white, is brittle, and has broken. The lid has a nearly black tint.

Наличие на внутренней поверхности контейнера налета от желтого до черного цвета указывает либо на возникновение продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, либо на выделение в виде налета продуктов разложения компонентов, а помутнение композитов и появление белого налета указывает на выделение нерастворимых фрагментов. При значительном введении биодеструктирующих добавок в ПП появляется зеленый оттенок воды, что также может объясняться ростом количества микроорганизмов. Биодеструкция приводит к снижению прочности композитов (крошатся) и увеличению хрупкости.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение качественного состава воды, в которой экспонировались образцы, налета на внутренней поверхности контейнеров и на самих композитах, а также оценке причин, вызывающих изменение цвета воды.

Заключение

Исследована склонность к биодegradации композитов на основе полипропилена, масла семян каучукового дерева и неочищенного натурального каучука – продукта, выделенного из млечного сока каучуконоса – дерева "Nevea Brasiliensis". Склонность к биодegradации оценивалась по показателям шероховатости поверхности композитов, краевому углу смачивания и водопоглощению.

Выявлено, что неочищенный натуральный каучук и масло семян каучукового дерева индивидуально и в смеси увеличивают шероховатость поверхности композита, гидрофильность и водопоглощение, что характеризует их как биодegradирующие агенты, способные регулировать жизненный цикл композитов на основе полипропилена.

Литература

- 1 Зенитова Л.А., Янов В.В., Гатауллина Л.И. Биоразлагаемые полимеры // Бутлеровские сообщения. 2024. Т. 9. № 4. С. 120–132. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-11-120
- 2 Янов В.В., Зенитова Л.А. Биоразлагаемые полимеры и полимерные композиции. Казань: КНИТУ, 2022. 144 с.
- 3 Сафаева Д.Р., Ташмухамедова Ш.Б. Влияние шероховатости на качество печати на полимерных пленках // Universum: технические науки. 2024. № 7 (124). doi: 10.32743/UniTech.2024.124.7.17897
- 4 Волкова К.В., Ситникова В.Е., Сибирцев В.С. и др. Дegradiруемые композиции на основе поливинилхлорида и бентонита // Химическая промышленность сегодня. 2018. № 1. С. 12–16.

- 5 Кузьмина Н.С., Прохорова А.А., Портнова С.В., Красных Е.Л. Исследование структуры модифицированного полибутиленсукцината яблочной кислотой и её сложным эфиром // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2022. Т. 64. № 5. С. 343–351. doi: 10.1134/S156009042270052X
- 6 Суворова А.И., Тюкова И.С., Смирнова Е.А., Тымчишина Н.М. Реологические свойства смесей тройного сополиамида 6/66/610 с хитозаном // Журнал прикладной химии. 2005. Т. 78. № 6. С. 989–992. doi: 10.1007/s11167-005-0429-2
- 7 Смирнова Е.А., Суворова А.И., Тюкова И.С. Взаимодействие компонентов и гидрофильность смесей сополимера этилена и винилацетата с крахмалом // Физико-химия полимеров: синтез, свойства и применение. 2004. № 10. С. 59–64.
- 8 Роговина С.З., Алексанян К.В., Владимиров Л.В., Берлин А.А. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе полилактида // Химическая физика. 2019. Т. 38. № 9. С. 39–46. doi: 10.1134/S0207401X19090097
- 9 Дышлок Л.С., Просеков А.Ю. Исследование кинетики биоразложения, деформационно-прочностных и экотоксикологических свойств, газопроницаемости и водопоглощения антимикробных упаковочных биоразлагаемых пленок на основе природных полисахаридов // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2019. № 2. С. 40–47.
- 10 Мухиддинов Б.Ф., Истамов Х.И., Оликулов Ф.Ж. Влияние содержания модифицированного крахмала на водопоглощение биоразлагаемых композитов на основе полиэтилена // Universum: химия и биология. 2025. № 6 (132). doi: 10.32743/UniChem.2025.132.6.20254
- 11 Ершова О.В., Медяник Н.Л., Мишурина О.А. и др. Сравнительный анализ физико-механических свойств биоразлагаемых и синтетических полимеров // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. № 4. С. 56–63. doi: 10.18503/1995-2732-2021-19-4-56-63
- 12 Мичуров Д.М., Шаркова А.С., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Исследование смачиваемости и водопоглощения композитов с полимерной фазой полилактида и опилками бука // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 3. С. 121–127.
- 13 Vasil'ev I.Y., Anan'ev V.V., Sultanova Y.M., Kolpakova V.V. The Influence of the Composition of Polyethylene, Starch, and Monoglyceride Biodegradable Compositions on Their Physicomechanical Properties and Structure // Polymer Science, Series D. 2022. V. 15. № 1. P. 122–127. doi: 10.1134/S1995421222010261
- 14 Даутова А.Н., Янов В.В., Алексеев Е.И., Зенитова Л.А. Биодegradирующие полимерные композиционные материалы с использованием натурального каучука // Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 52. № 10. С. 56. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/17-52-10-56
- 15 Алексеев Е.И., Янов В.В., Зенитова Л.А., Хайруллин Р.З. Влияние добавок натурального каучука на свойства полиэтилена высокого давления // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 20–22.
- 16 Alekseev E.I., Yanov V.V., Zenitova L.A. Fungal resistance of compositions based on high-pressure polyethylene and natural rubber // Processes of Petrochemistry and Oil Refining. 2021. V. 22. № 3. P. 345–355.
- 17 Dautova A., Yanov V., Mingaleev N., Zenitova L. Feasibility Study of Biodegradation of Polyamide 6 and Natural Rubber Composite Materials // International Journal of Environmental & Science Education. 2016. V. 11. № 18. P. 12121–12130.
- 18 Dautova A.N., Yanov V.V., Akhmedyanova R.A. et al. Nature rubber - a biodegradable additive for polymer composites based on glass-fiber-filled polyamide // Processes of Petrochemistry and Oil Refining. 2018. V. 19. № 1. P. 83–93.
- 19 Алексеев Е.И., Зенитова Л.А. Исследование оценки влияния грибов на композиции на основе полиэтилена высокого давления и натурального каучука // Жить в XXI веке – 2021: сб. тр. конф. Казань, 2021. С. 120–122. doi: 10.12731/978-5-7882-3027-6
- 20 Янов В.В., Гатауллина Л.И., Зенитова Л.А. Продукты гевей и полипропилен // Вестник технологического университета. 2024. Т. 27. № 11. С. 56–62. doi: 10.55421/1998-7072_2024_27_11_56
- 21 Primc G. Hydrophilization of polypropylene by gaseous plasma treatments and hydrophobic recovery // Polymers. 2025. V. 17. № 19. P. 2644. doi: 10.3390/polym17192644
- 22 Yanov V.V., Gataullina L.I., Zenitova L.A. Polypropylene-based Compositions with Natural Rubber and Rubber Tree Seed Oil // Doklady Chemistry. 2025. V. 520. Part 2. P. 45–49. doi: 10.1134/S0012500825600993

References

- 1 Zenitova L.A., Yanov V.V., Gataullina L.I. Biodegradable Polymers. Butlerov Communications. 2024. vol. 9. no. 4. pp. 120–132. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-11-120 (in Russian).
- 2 Yanov V.V., Zenitova L.A. Biodegradable Polymers and Polymer Compositions. Kazan: KNRTU, 2022. 144 p. (in Russian).
- 3 Safaeva D.R., Tashmukhamedova Sh.B. Influence of Roughness on Printing Quality on Polymer Films. Universum: Technical Sciences. 2024. no. 7 (124). doi: 10.32743/UniTech.2024.124.7.17897 (in Russian).
- 4 Volkova K.V., Sitnikova V.E., Sibirtsev V.S. et al. Degradable Compositions Based on Polyvinyl Chloride and Bentonite. Chemical Industry Today. 2018. no. 1. pp. 12–16. (in Russian).
- 5 Kuzmina N.S., Prokhorova A.A., Portnova S.V., Krasnykh E.L. Study of the Structure of Polybutylene Succinate Modified with Malic Acid and Its Ester. Polymer Science, Series B. 2022. vol. 64. no. 5. pp. 343–351. doi: 10.1134/S156009042270052X (in Russian).
- 6 Suvorova A.I., Tyukova I.S., Smirnova E.A., Tymchishina N.M. Rheological Properties of Blends of Terpolyamide 6/66/610 with Chitosan. Russian Journal of Applied Chemistry. 2005. vol. 78. no. 6. pp. 989–992. doi: 10.1007/s11167-005-0429-2 (in Russian).
- 7 Smirnova E.A., Suvorova A.I., Tyukova I.S. Interaction of Components and Hydrophilicity of Blends of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer with Starch. Physical Chemistry of Polymers: Synthesis, Properties and Application. 2004. no. 10. pp. 59–64. (in Russian).
- 8 Rogovina S.Z., Aleksanyan K.V., Vladimirov L.V., Berlin A.A. Biodegradable Polymer Materials Based on Polylactide. Russian Journal of Physical Chemistry B. 2019. vol. 38. no. 9. pp. 39–46. doi: 10.1134/S0207401X19090097 (in Russian).

- 9 Dyshlyuk L.S., Prosekov A.Yu. Study of the Kinetics of Biodegradation, Deformation-Strength and Ecotoxicological Properties, Gas Permeability and Water Absorption of Antimicrobial Packaging Biodegradable Films Based on Natural Polysaccharides. *Bulletin of VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2019. no. 2. pp. 40–47. (in Russian).
- 10 Mukhiddinov B.F., Istamov Kh.Y., Olikulov F.Zh. Influence of Modified Starch Content on Water Absorption of Biodegradable Composites Based on Polyethylene. *Universum: Chemistry and Biology*. 2025. no. 6 (132). doi: 10.32743/UniChem.2025.132.6.20254 (in Russian).
- 11 Ershova O.V., Medyanik N.L., Mishurina O.A. et al. Comparative Analysis of Physical and Mechanical Properties of Biodegradable and Synthetic Polymers. *Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2021. vol. 19. no. 4. pp. 56–63. doi: 10.18503/1995-2732-2021-19-4-56-63 (in Russian).
- 12 Michurov D.M., Sharkova A.S., Shkuro A.E., Krivonogov P.S. Study of Wettability and Water Absorption of Composites with Polylactide Polymer Phase and Beech Sawdust. *Woodworking Industry*. 2023. no. 3. pp. 121–127. (in Russian).
- 13 Vasil'ev I.Y., Anan'ev V.V., Sultanova Y.M., Kolpakova V.V. The Influence of the Composition of Polyethylene, Starch, and Monoglyceride Biodegradable Compositions on Their Physicomechanical Properties and Structure. *Polymer Science, Series D*. 2022. vol. 15. no. 1. pp. 122–127. doi: 10.1134/S1995421222010261.
- 14 Dautova A.N., Yanov V.V., Alekseev E.I., Zenitova L.A. Biodegradable Polymer Composite Materials Using Natural Rubber. *Butlerov Communications*. 2017. vol. 52. no. 10. p. 56. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/17-52-10-56 (in Russian).
- 15 Alekseev E.I., Yanov V.V., Zenitova L.A., Khairullin R.Z. Influence of Natural Rubber Additives on the Properties of High-Pressure Polyethylene. *Bulletin of Technological University*. 2017. vol. 20. no. 8. pp. 20–22. (in Russian).
- 16 Alekseev E.I., Yanov V.V., Zenitova L.A. Fungal resistance of compositions based on high-pressure polyethylene and natural rubber. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2021. vol. 22. no. 3. pp. 345–355.
- 17 Dautova A., Yanov V., Mingaleev N., Zenitova L. Feasibility Study of Biodegradation of Polyamide 6 and Natural Rubber Composite Materials. *International Journal of Environmental & Science Education*. 2016. vol. 11. no. 18. pp. 12121–12130.
- 18 Dautova A.N., Yanov V.V., Akhmedyanova R.A. et al. Nature rubber - a biodegradable additive for polymer composites based on glass-fiber-filled polyamide. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2018. vol. 19. no. 1. pp. 83–93.
- 19 Alekseev E.I., Zenitova L.A. Study of the Assessment of the Influence of Fungi on Compositions Based on High-Pressure Polyethylene and Natural Rubber. In: *Live in the 21st Century – 2021: Collection of Conference Proceedings*. Kazan, 2021. pp. 120–122. doi: 10.12731/978-5-7882-3027-6 (in Russian).
- 20 Yanov V.V., Gataullina L.I., Zenitova L.A. Hevea Products and Polypropylene. *Bulletin of Technological University*. 2024. vol. 27. no. 11. pp. 56–62. doi: 10.55421/1998-7072_2024_27_11_56 (in Russian).
- 21 Primc G. Hydrophilization of polypropylene by gaseous plasma treatments and hydrophobic recovery. *Polymers*. 2025. vol. 17. no. 19. article 2644. doi: 10.3390/polym17192644.
- 22 Yanov V.V., Gataullina L.I., Zenitova L.A. Polypropylene-based Compositions with Natural Rubber and Rubber Tree Seed Oil. *Doklady Chemistry*. 2025. vol. 520. part 2. pp. 45–49. doi: 10.1134/S0012500825600993.

Сведения об авторах

Владислав В. Янов к.т.н., доцент, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д.68, Казань, 420015, Россия, vladyanoff@ya.ru
 <https://orcid.org/0009-0003-1424-5754>

Лина И. Гатауллина студент, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д.68, Казань, 420015, Россия, raudeeva@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0003-5488-4905>

Ладимира В. Носова студент, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д.68, Казань, 420015, Россия, ladimira.nosova@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0006-9503-4730>

Любовь А. Зенитова д.т.н., профессор, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д.68, Казань, 420015, Россия, liubov_zenitova@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0009-0651-695X>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Vladislav V. Yanov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of synthetic rubber technology, Kazan National Research Technological University, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, vladyanoff@ya.ru
 <https://orcid.org/0009-0003-1424-5754>

Lina I. Gataullina student, department of synthetic rubber technology, Kazan National Research Technological University, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, raudeeva@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0003-5488-4905>

Ladimira V. Nosova student, department of synthetic rubber technology, Kazan National Research Technological University, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, ladimira.nosova@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0006-9503-4730>

Liubov A. Zenitova Dr. Sci. (Engin.), professor, department of synthetic rubber technology, Kazan National Research Technological University, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, liubov_zenitova@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0009-0651-695X>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/12/2025	После редакции 28/12/2025	Принята в печать 18/01/2026
Received 21/12/2025	Accepted in revised 28/12/2025	Accepted 18/01/2026