

Исследование свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров, с целью возможности их использования в пищевой отрасли

Ольга В. Ершова	¹	yershova_mgtu@mail.ru	
Эльвира Р. Муллина	¹	olegro74@mail.ru	 0000-0003-3412-8902
Юлия А. Бессонова	¹	chem@magtu.ru	 0000-0001-8027-3567
Ксения В. Багреева	¹	ksushabagreeva@gmail.com	

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.Н. Носова, ул. Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема экологичности упаковочных материалов, используемых в пищевой отрасли. Цель работы заключалась в исследовании физико-механических характеристик биоразлагаемых и синтетических полимеров, с целью актуализации замены синтетических упаковочных материалов на более экологичные материалы. В статье рассмотрены основные характеристики инновационных биоразлагаемых материалов основе полилактидов (PLA). Представлен сравнительный анализ прочностных и сорбционных свойств как биоразлагаемых, так и синтетических полимерных материалов. Сравнительный анализ исследуемых материалов проводился по следующим параметрам: водопоглощение, стойкость к проколу, деформационно-прочностные и теплофизические характеристики. Так же в работе представлены результаты исследования водопоглощающей способности анализируемых полимерных материалов. Приведены результаты испытаний, позволяющие установить температурно-временные параметры переработки полилактида по расплавному методу. Проанализированы данные, полученные методом ДСК по установлению релаксационных и фазовых переходов, происходящее в полимере при термоллизе. В ходе проведения эксперимента так же были проведены экспериментальные исследования химических свойств биоразлагаемых материалов на основе полилактидов (PLA), китайского производства. Рассмотрены основные преимущества и недостатки синтетических и природных полимерных материалов. Кроме того, в работе проанализированы экологические аспекты практического применения исследуемых полимерных материалов. Сформулированы выводы о возможности и безопасности применения представленных материалов в различных отраслях пищевой промышленности. На основании полученных результатов эксперимента установлено, что синтетические полимерные материалы по исследуемым физико-механическим параметрам незначительно превосходят биополимерные материалы, однако, учитывая экологичность и возможность полной утилизации в природных условиях, данный факт не снижает актуальности использования биополимеров в пищевой отрасли. Кроме того, анализ данных по химическому составу исследуемых биополимеров основе полилактидов (PLA) показал, что снижение прочностных параметров представленных образцов, возможно, нивелировать путем введения модифицирующих упрочняющих и гидрофобизирующих добавок.

Ключевые слова: полилактид, биоразлагаемые полимеры, синтетические полимеры, водопоглощение, деформационно-прочностные, теплофизические характеристики

Investigation of the properties of synthetic and biodegradable polymers, with a view to the possibility of their use in the food industry

Olga V. Ershova	¹	yershova_mgtu@mail.ru	
Elvira R. Mullina	¹	olegro74@mail.ru	 0000-0003-3412-8902
Julia A. Bessonova	¹	chem@magtu.ru	 0000-0001-8027-3567
Ksenia V. Bagreeva	¹	ksushabagreeva@gmail.com	

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. The article deals with the actual problem of environmental friendliness of packaging materials used in the food industry. The aim of the work was to study the physical and mechanical characteristics of biodegradable and synthetic polymers, with the aim of updating the replacement of synthetic packaging materials with more environmentally friendly materials. The article discusses the main characteristics of innovative biodegradable materials based on polylactides (PLA). A comparative analysis of the strength and sorption properties of both biodegradable and synthetic polymeric materials is presented. A comparative analysis of the materials under study was carried out according to the following parameters: water absorption, puncture resistance, deformation-strength and thermophysical characteristics. The paper also presents the results of a study of the water-absorbing capacity of the analyzed polymeric materials. The results of tests are presented, which make it possible to establish the temperature-time parameters of the processing of polylactide by the melt method. The data obtained by the DSC method on the establishment of relaxation and phase transitions that occur in the polymer during thermolysis are analyzed. During the experiment, experimental studies of the chemical properties of biodegradable materials based on polylactides (PLA), made in China were carried out. The main advantages and disadvantages of synthetic and natural polymeric materials are considered. In addition, the paper analyzes the environmental aspects of the practical application of the studied polymeric materials. Conclusions are formulated about the possibility and safety of using the presented materials in various branches of the food industry. Based on the results of the experiment, it was found that synthetic polymer materials slightly exceed biopolymer materials in terms of the investigated physical and mechanical parameters, however, given the environmental friendliness and the possibility of complete utilization in natural conditions, this fact does not reduce the relevance of using biopolymers in the food industry. In addition, the analysis of data on the chemical composition of the studied biopolymers based on polylactides (PLA) showed that the decrease in the strength parameters of the presented samples can be neutralized by introducing modifying strengthening and hydrophobizing additives.

Keywords: polylactide, biodegradable polymers, synthetic polymers, water absorption, deformation-strength, thermophysical characteristics

Для цитирования

Ершова О.В., Муллина Э.Р., Бессонова Ю.А., Багреева К.В. Исследование свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров, с целью возможности их использования в пищевой отрасли // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 245–251. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-245-251

For citation

Ershova O.V., Mullina E.R., Bessonova Ju.A., Bagreeva K.V. Investigation of the properties of synthetic and biodegradable polymers, with a view to the possibility of their use in the food industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 245–251. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-1-245-251

Введение

На сегодняшний день крупные страны, стараясь решить проблемы безопасности и экологичности упаковочных материалов, всё чаще задумываются о создании и использовании инновационных полимерных материалов, которые отвечали бы всем параметрам безопасности при хранении и транспортировке товара, а также современным критериям экологичности материала. Ускоренному распространению технологий производства таких материалов для упаковки способствует соответствующее общественное мнение и законодательные способы воздействия и регулирования.

Сегодня ведущие университеты мира занимаются активной разработкой и внедрением биоразлагаемых упаковочных материалов. В России об этой упаковке информации практически нет, как нет своих производителей [1–2].

По определению Международной организации по стандартизации биоразлагаемые пластики это полимеры, разложение которых происходит под воздействием бактерий, грибов и водорослей. Понятно, что применение таких пластиков минимизирует вредное воздействие на экологию окружающей среды. Несмотря на то, что стоимость такой упаковки больше обычной, многие крупные розничные сети, супермаркеты переходят на упаковку из биоразлагаемых материалов.

Биоразлагаемые полимеры сохраняют эксплуатационные свойства только в течение периода потребления и использования [2–4]. Срок жизни биоразлагаемых полимеров, как правило, составляет до нескольких месяцев. Считается, что биоразлагаемые материалы по своим свойствам схожи с синтетическими полимерами [3–5]. Поэтому они способны заменить пластмассы, полимерные пленки и другие упаковочные материалы. Упаковка из биоразлагаемых полимерных материалов в отличие от синтетической полимерной упаковки обладает рядом преимуществ, заключающихся в легкости вторичной переработки и решении экологических проблем. Именно поэтому изучение свойств биополимеров является актуальным научным направлением [3, 6, 7].

Цель работы – исследование физико-механических характеристик биоразлагаемых и синтетических полимеров, для актуализации замены синтетических упаковочных материалов, на более экологичные.

Материалы и методы

В ходе проведения экспериментальных исследований были изучены свойства биополимеров на основе полилактидов (PLA) различных

китайских производителей, обозначенные в работе под номерами: № 1–4 и № 5. В экспериментальной части работы проведен сравнительный анализ физико-механических характеристик биоразлагаемых материалов и наиболее широко используемых синтетических полимерных материалов – полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и полипропилена (ПП). В ходе исследования использовались следующие методики: методика испытания полимерных пленок на растяжение согласно ГОСТ 14236–81 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение». Определение водопоглощения проходило согласно ГОСТ 4650–2014 (ISO 62:2008) «Пластмассы. Методы определения водопоглощения». Определение стойкости к проколу проводилось по ГОСТ 12.4.118–82 «Пленочные полимерные материалы и искусственные кожи для средств защиты рук. Метод определения стойкости к проколу». Исследование теплофизических характеристик и состава биоразлагаемых полимеров методом синхронного термического анализа проводилось согласно ISO 11357 «Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия».

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментального исследования по водопоглощению анализируемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты испытаний полимерных материалов по показателям водопоглощения

Table 1.

Results of tests of polymer materials on water absorption indicators

Образец Sample	Водопоглощение, C, % Water absorption, C, %
PLA № 1	7,94423
PLA № 2	10,32531
PLA № 3	9,48361
PLA № 4	9,28450
PLA № 5	5,70109
ПЭНП	9,87996
ПП	2,98851

Анализ полученных результатов показал, что максимальная водопоглощающая способность отмечена у образцов PLA № 2. Кроме того, в ходе исследования на водопоглощение полимерных материалов было установлено, что данный показатель в целом выше у биоразлагаемых материалов, чем у синтетических. Это позволяет сделать вывод о том, что биополимеры более сильно подвержены разложению в водных средах, в сравнении с синтетическими полимерными материалами [8, 9].

Результаты испытания исследуемых образцов по показателю стойкости к проколу представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты испытаний полимерных материалов по показателям стойкости к проколу

Table 2.

Results of tests of polymer materials in terms of puncture resistance

Образец Sample	Усилие прокола, Н Piercing force, Н	Нормальное растягивающее напряжение при проколе σ , МПа Normal tensile stress at the puncture σ , MPa
PLA № 1	1,057	1,057
PLA № 2	0,637	0,637
PLA № 3	1,35	1,35
PLA № 4	0,547	0,547
PLA № 5	0,509	0,509
ПЭНП	0,713	0,713
ПП	0,509	0,509

В результате исследования было установлено, что стойкость к проколу биоразлагаемых и синтетических материалов сопоставима, а в

некоторых случаях и незначительно выше, следовательно, рассматриваемые образцы полилактидных материалов могут найти практическое применение для получения транспортной упаковки, а так же в производстве упаковочных материалов для пищевой продукции [1, 3, 10, 11].

Результаты прочностных характеристик исследуемых образцов полимерных материалов представлены в таблице 3. Испытание образцов на растяжение проводилось в двух направлениях – поперечном и продольном.

Анализ полученных результатов (таблица 3) показал, что максимальные значения растяжения материала (при поперечном направлении) отмечены у синтетического полимера ПЭНП. Максимальные значения растяжения материала (в продольном направлении) характерны для образца PLA № 2. Из этого можно сделать вывод, что полилактидные пленки ориентированы в двух направлениях, но в поперечном направлении прочность полилактидных материалов при разрыве выше. Полилактидные плёнки очень эластичны, хорошо тянутся и практически не уступают по данному параметру синтетическим полимерным материалам [2, 6, 12].

Таблица 3.

Результаты испытаний полимерных материалов по деформационно-прочностным показателям

Table 3.

Results of tests of polymer materials on deformation and strength indicators

Образец Sample	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
	Tensile strength, MPa	Relative elongation, %	Tensile strength, MPa	Relative elongation at break, %
<i>поперечное направление transverse direction</i>				
PLA № 1	2,16	18,964	0,91	35,153
PLA № 2	2,7	5,638	0,77	45,974
PLA № 3	6,21	6,708	4,1	9,336
PLA № 4	2,22	5,45	1,39	11,626
PLA № 5	1,6	4,45	0,45	20,584
ПЭНП	4,84	14,968	1,78	26,087
ПП	4,01	2,24	1,16	41,261
<i>продольное направление longitudinal direction</i>				
PLA № 1	1,4	8,3	0,38	32,283
PLA № 2	3,64	10,01	1,01	20,597
PLA № 3	8,6	8,27	2,11	34,56
PLA № 4	2,73	11,12	1,33	18,049
PLA № 5	2,7	18,73	0,946	25,08
ПЭНП	4,7	39,84	2,43	45,902
ПП	1,99	3,764	0,53	20,533

Изучение теплофизических характеристик биоразлагаемых материалов и их состава проводили методом термогравиметрической и дифференциально-сканирующей колориметрии (ТГ и ДСК) на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия).

Для проведения испытания, образцы исследуемого материала помещали в алюминиевый тигель. Тигель с образцами материала закрывали крышкой и устанавливали на держателе прибора с термопарой типа S чувствительностью 1 мкВт. По заданной температурной

программе (нагрев от 30 до 600 °C со скоростью 10 °C/мин) проводили испытание в атмосфере аргона (20 мл/мин). При помощи электронной системы и пакета программ NETZSCH-Proteus осуществлялся контроль и сбор данных. Анализ данных выполнялся в программе Proteus Analysis [1,13]. Кривые синхронного термического анализа образца «PLA № 1» представлены на рисунке 1, образца «PLA № 3» представлены на рисунке 2.

На ДСК-кривой отмечено несколько эндотермических пиков. Пик при 42,9 °C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов, к которым могут относиться вода, растворители и ряд других веществ. Данная кривая имеет два пика плавления (пики при 145,1 и 161,3 °C). Остальные указанные пики соответствуют стадиям разложения органических компонентов, входящих в состав полилактидных материалов.

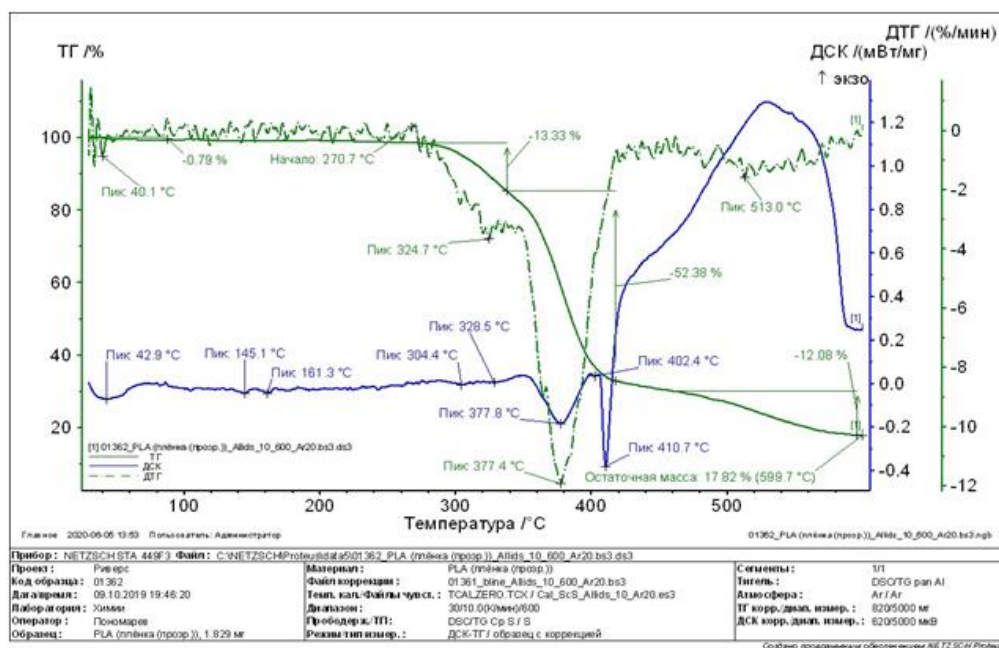


Рисунок 1. Кривые синхронного термического анализа образца «PLA № 1»

Figure 1. Curves of synchronous thermal analysis of the sample "PLA No. 1"

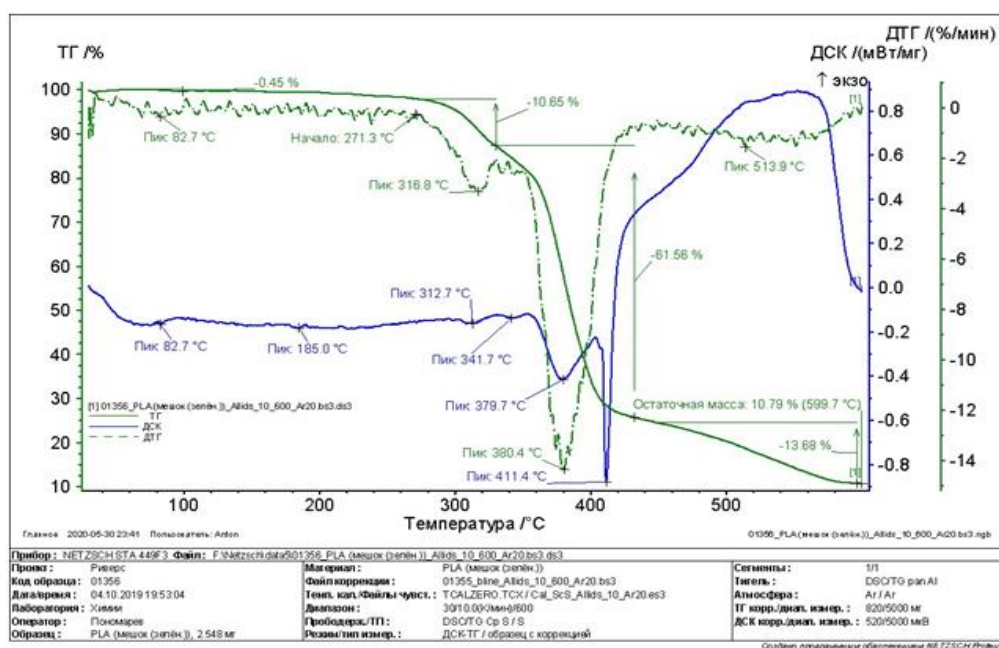


Рисунок 2. Кривые синхронного термического анализа образца «PLA № 3»

Figure 2. Curves of synchronous thermal analysis of the sample "PLA № 3"

На кривой производной по термогравиметрической кривой (ДТГ-кривой) выделено четыре пика разложения (пики при 40,1; 324,7; 377,4 и 513,0 °C). Пик с вершиной при температуре 40,1 °C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов (соответствующая потеря массы, установленная по термогравиметрической кривой (ТГ-кривой), составляет 0,79%). При 270,7 °C начинается процесс разложения полилактида (ПЛА), который протекает в две стадии (пики при 324,7 и 377,4 °C) с общей потерей массы 65,71%. При 513,0 °C разлагается более термостойкий компонент материала с общей потерей массы 12,08%. Указанные потери массы для каждого из компонентов приблизительно соответствуют их долям (масс.) в составе материала. По ТГ-кривой определено, что остаточная масса при температуре 599,7 °C равна 17,82%. Её образуют углерод и неорганические компоненты, которые, например, могут входить в состав наполнителя.

На ДСК-кривой отмечено несколько эндотермических пиков. Пик при температуре 82,7 °C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов, к которым могут относиться вода, растворители и ряд других веществ. Данная кривая имеет один пик плавления при 185,0 °C. Остальные указанные пики соответствуют стадиям разложения органических компонентов, входящих в состав полилактидных материалов.

На ДТГ-кривой выделено четыре пика разложения (пики при 82,7; 316,8; 380,4 и 513,9 °C). Пик с вершиной при температуре 82,7 °C характеризует удаление из образца легколетучих компонентов (соответствующая потеря массы, установленная по термогравиметрической кривой (ТГ-кривой), составляет 0,45%). При 271,3 °C начинается процесс разложения полилактида (ПЛА), который протекает в две стадии (пики при 316,8 и 380,4 °C) с общей потерей массы 72,21%. При 513,9 °C разлагается более термостойкий компонент материала с общей потерей массы 13,68%. Указанные потери массы для каждого из компонентов приблизительно соответствуют их долям (масс.) в составе материала. По ТГ-кривой определено, что остаточная масса при температуре 599,7 °C равна 10,79%. Её образуют углерод и неорганические компоненты, которые, например, могут входить в состав наполнителя.

Заключение

Биоразлагаемые полимерные материалы сохраняют свои свойства практически неизменными в течение всего срока их эксплуатации,

по окончании которого претерпевают ускоренные физико-химические и биологические превращения в природной окружающей среде, включаясь в метаболизм биологических систем.

Практические результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров, позволили сделать следующие выводы:

- исследуемые в работе образцы PLA легко подвергаются деструкции в водных системах, обладают достаточной эластичностью и стойкостью к механическому проколу;

- результаты, полученные методом термогравиметрической и дифференциально-сканирующей колориметрии (ТГ и ДСК) позволили установить наличие неорганического компонента в составе исследуемых образцов биополимера, что может указывать на наличие в них связующих и модифицирующих добавок неорганического происхождения;

- синтетические полимерные материалы, по основным физико-механическим параметрам незначительно превосходят биоразлагаемые полимерные материалы, однако в отличие от биополимеров практически не утилизируются в природе естественным путем;

- по показателям водопоглощения исследуемые образцы биоразлагаемых полимеров в сравнение с ПЭНП характеризуются лучшей гидрофобностью (кроме образца PLA № 2);

- для улучшения эксплуатационных свойств биополимера рекомендуется использовать специальные модифицирующие (упрочняющие и гидрофобизирующие) добавки [14–20].

Таким образом, биоразлагаемые полимерные материалы можно широко применять в качестве экологически безопасного гидрофобного упаковочного материала в различных отраслях пищевой промышленности [5, 10, 13]. Утилизация биоразлагаемых полимерных материалов не требует специальных дополнительных площадей и участков под свалки, а продукты их разложения не оказывают пагубного влияния на окружающую среду. Основными проблемами являются: отсутствие руководящих принципов и методологической согласованности анализа различных типов полимеров, композиционных материалов и материалов, содержащих добавки, недостаточный уровень стандартизации методов, ограниченность в оборудовании и в некоторых случаях, сложность проведения испытаний.

Литература

- 1 Ершова О.В., Багреева К.В. Исследование физико-механических свойств биоразлагаемых и синтетических полимеров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции. 2021. Т. 2. С. 603
- 2 Вильданов Ф.Ш., Латыпова Ф.Н., Красуцкий П.А., Чанышев Р.Р. Биоразлагаемые полимеры современное состояние и перспективы использования // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. №. 1. С. 135-139.
- 3 Ивановский С.К., Бахаева А.Н. Экологические аспекты проблемы утилизации отходов полимерной упаковки и техногенных минеральных ресурсов // Успехи современного естествознания. 2015. № 1–5. С. 813–817.
- 4 Adamcová D., Vavrková M., Toman F. Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2013. V. 61. №. 6. P. 1557-1564.
- 5 Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 250.
- 6 Kjeldsen A., Price M., Lilley C., Guzniczak E. et al. A Review of Standards for Biodegradable Plastics // Industrial Biotechnology Innovation Centre. 2017. P. 33.
- 7 Dr. Rolf-Joachim Miller. Biodegradability of Polymers: Regulations and Methods for Test-ing. Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, 2016. 388 p.
- 8 Ершова О.В., Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Мишурина О.А. и др. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–3. С. 487–491.
- 9 Закирова А.Ш., Канарская З.А., Михайлова О.С., Василенко С.В. Биодegradируемые пленочные материалы. Часть 1. Биодegradируемые пленочные материалы на основе синтетических и микробиологически синтезированных полимеров // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №. 9. С. 155-162.
- 10 Коляда Л.Г., Медяник Н.Л., Ефимов Ю.Ю. Синтез и исследование наночастиц серебра и возможность их использования в пищевой упаковке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 2 (50). С. 65–69.
- 11 Yershova O.V., Chuprova L.V., Mullina E.R., Mishurina O.A. et al. The solution of environmental problems during plastic package recycling // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10. № 24. P. 44896–44899.
- 12 Мухаметдинова А.А. Определение деструкции биоразлагаемых полимеров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. 2020. С. 30.
- 13 Ершова О.В. Деструкция полимерных пленок, модифицированных оксибиоразлагаемой добавкой d2W // Успехи современного естествознания. 2016. № 11–2. С. 221–225.
- 14 Ершова О.В., Чупрова Л.В. Решение проблемы утилизации отходов полимерных материалов // Фундаментальные исследования. 2016. № 11–2. С. 271–275.
- 15 Vavrková M., Kotovicová J., Adamcová D. Testing the biodegradability and biodegradation rates of degradable/biodegradable plastics within simulated environment // Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2011. №. 12.
- 16 Носков Д.В., Артеменко С.Е., Овчинникова Г.П. Модификация вторичных полимеров // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. №. 1. С. 131-133.
- 17 Мельниченко М.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р., Мишурина О.А. и др. Влияние химического состава на реакционную способность дисперсных наполнителей, используемых в композиционных материалах // Успехи современного естествознания. 2015. № 11. С. 70–73.
- 18 Нестеренкова А.И., Осипчик В.С. Тальконаполненные композиции на основе полипропилена // Пластические массы. 2007. № 6. С. 44–46.
- 19 Gilev V.G., Rusakov S.V., Rakhmanov A.Y., Chudinov V.S. et al. Modeling the curing kinetics of an epoxy binder with disturbed stoichiometry for a composite material of aero-space purpose // Mechanics of Composite Materials. 2021. V. 57. № 3. P. 361–372.
- 20 Mohite A.S., Rajpurkar Y.D., More A.P. Bridging the gap between rubbers and plastics: a review on thermoplastic polyolefin elastomers // Polymer Bulletin. 2021. P. 1-35. doi: 10.1007/s00289-020-03522-8

References

- 1 Ershova O.V., Bagreeva K.V. Study of the physical and mechanical properties of biodegradable and synthetic polymers. Actual problems of modern science, technology and education: abstracts of the 79th international scientific and technical conference. 2021. vol. 2. pp. 603. (in Russian).
- 2 Vildanov F.Sh., Latypova F.N., Krasutsky P.A., Chanyshev R.R. Biodegradable polymers current state and prospects for use. Bashkir Chemical Journal. 2012. vol. 19. no. 1. pp. 135-139. (in Russian).
- 3 Ivanovsky S.K., Bakhaeva A.N. Ecological aspects of the problem of recycling of waste polymer packaging and technogenic mineral resources. Successes of modern natural science. 2015. no. 1–5. pp. 813–817. (in Russian).
- 4 Adamcová D., Vavrková M., Toman F. Repeated research of biodegradability of plastics materials in real composting conditions. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2013. vol. 61. no. 6. pp. 1557-1564.
- 5 Mullina E.R., Mishurina O.A., Chuprova L.V., Ershova O.V. Influence of the chemical nature of sizing components on the hydrophilic and hydrophobic properties of cellulose materials. Modern problems of science and education. 2014. no. 6. pp. 250. (in Russian).
- 6 Kjeldsen A., Price M., Lilley C., Guzniczak E. et al. A Review of Standards for Biodegradable Plastics. Industrial Biotechnology Innovation Centre. 2017. pp. 33.
- 7 Dr. Rolf-Joachim Miller. Biodegradability of Polymers: Regulations and Methods for Test-ing. Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, 2016. 388 p.

- 8 Ershova O.V., Mullina E.R., Chuprova L.V., Mishurina O.A. et al. Study of the influence of the composition of an inorganic filler on the physicochemical properties of a polymer composite material. *Fundamental Research*. 2014. no. 12–3. pp. 487–491. (in Russian).
- 9 Zakirova A.Sh., Kanarskaya Z.A., Mikhailova O.S., Vasilenko S.V. Biodegradable film materials. Part 1. Biodegradable film materials based on synthetic and microbiologically synthesized polymers. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2014. vol. 17. no. 9. pp. 155–162. (in Russian).
- 10 Kolyada L.G., Medyanik N.L., Efimov Yu.Yu. Synthesis and study of silver nanoparticles and the possibility of their use in food packaging. *Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University*. G.I. Nosov. 2015. no. 2 (50). pp. 65–69. (in Russian).
- 11 Yershova O.V., Chuprova L.V., Mullina E.R., Mishurina O.A. et al. The solution of environmental problems during plastic package recycling. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. vol. 10. no. 24. pp. 44896–44899.
- 12 Mukhametdinova A.A. Determination of degradation of biodegradable polymers. *Actual problems of modern science, technology and education. Abstracts of the 78th international scientific and technical conference*. 2020. pp. 30. (in Russian).
- 13 Ershova O.V. Destruction of polymer films modified with oxybiodegradable additive d2W. *Successes of modern natural sciences*. 2016. no. 11–2. pp. 221–225. (in Russian).
- 14 Ershova O.V., Chuprova L.V. Solving the problem of waste disposal of polymeric materials. *Fundamental research*. 2016. no. 11–2. pp. 271–275. (in Russian).
- 15 Vavrková M., Kotovicová J., Adamcová D. Testing the biodegradability and biodegradation rates of degradable/biodegradable plastics within simulated environment. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. 2011. no. 12.
- 16 Noskov D.V., Artemenko S.E., Ovchinnikova G.P. Modification of secondary polymers. *News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology*. 2003. vol. 46. no. 1. pp. 131–133. (in Russian).
- 17 Melnichenko M.A., Chuprova L.V., Mullina E.R., Mishurina O.A. et al. Influence of chemical composition on the reactivity of dispersed fillers used in composite materials. *Successes of modern natural science*. 2015. no. 11. pp. 70–73. (in Russian).
- 18 Nesterenkova A.I., Osipchik V.S. Talc-filled compositions based on polypropylene. *Plastic masses*. 2007. no. 6. pp. 44–46. (in Russian).
- 19 Gilev V.G., Rusakov S.V., Rakhmanov A.Y., Chudinov V.S. et al. Modeling the curing kinetics of an epoxy binder with disturbed stoichiometry for a composite material of aero-space purpose. *Mechanics of Composite Materials*. 2021. vol. 57. no. 3. pp. 361–372.
- 20 Mohite A.S., Rajpurkar Y.D., More A.P. Bridging the gap between rubbers and plastics: a review on thermoplastic polyolefin elastomers. *Polymer Bulletin*. 2021. pp. 1–35. doi: 10.1007/s00289-020-03522-8

Сведения об авторах

Ольга В. Ершова к.п.н, доцент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ул. Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия, yershova_mgtu@mail.ru

Эльвира Р. Муллина к.т.н, доцент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ул. Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия, olegro74@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3412-8902>

Юлия А. Бессонова к.э.н, доцент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ул. Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия, chem@magtu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8027-3567>

Ксения В. Багреева студент, кафедра химии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ул. Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия, ksushabagreeva@gmail.com

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

Olga V. Ershova Cand. Sci. (Ped.), associate professor, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenina st., 48, Magnitogorsk, 455000, Russia, yershova_mgtu@mail.ru

Elvira R. Mullina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenina st., 48, Magnitogorsk, 455000, Russia, olegro74@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3412-8902>

Julia A. Bessonova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenina st., 48, Magnitogorsk, 455000, Russia, chem@magtu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8027-3567>

Ksenia V. Bagreeva student, chemistry department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenina st., 48, Magnitogorsk, 455000, Russia, ksushabagreeva@gmail.com

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare the absence of conflict of interest

Поступила 27/12/2021	После редакции 11/02/2022	Принята в печать 02/03/2022
Received 27/12/2021	Accepted in revised 11/02/2022	Accepted 02/03/2022