

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Попцова Е.В.¹

Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Подзорова М.В.¹

¹Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
liza.poptsova@yandex.ru

Введение

Накопление трудноразлагаемых полимерных отходов, таких как полиэтилен и полипропилен, является одной из острых экологических проблем XXI века. Существующие подходы к решению проблемы, включая переработку и использование биоразлагаемых пластиков, сталкиваются с экономическими и технологическими трудностями. Целью работы является разработка биоразлагаемых полимерных композитов на основе полиэтилена и вторичного сырья с добавлением поликапролактона (ПКЛ) и полилактида (ПЛА), способных сочетать прочность в процессе эксплуатации с ускоренной деструкцией в естественных условиях под действием ультрафиолета и почвенных микроорганизмов.

Основная часть

В связи с высокой актуальностью проблемы загрязнения окружающей среды полимерными отходами [1], в работе исследовалась возможность создания композитов с ускоренной деструкцией на основе пленочных образцов из полиэтилена низкой плотности (марка 15803–020, Россия) с добавлением 30-50 мас.% биоразлагаемых полимеров полилактида (ПЛА) (4043D, Nature works, США) и поликапролактона (ПКЛ) (ESUN 600C, Китай), а также с введением в полимерную матрицу вторичного промышленного полиэтилена низкой плотности (ПЭНПвт) в количестве 10-20 мас.%.

Исследование полимерных материалов методами оптической микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), ТГА и ИК-спектроскопии после воздействия УФ-излучения (365 нм), анализа гидролиза и инкубации в грунте показало, что эти факторы являются крайне агрессивными для полимерных композитов. Полученные результаты имеют практическую значимость для оценки долговечности материалов, а также с точки зрения деструкции в окружающей среде, например, применяемых в аграрном секторе.

В результате исследования воздействия длины волны 365 нм в течение 500 часов было установлено, что присутствие ПЛА в образцах ускоряет фотодеструкцию [2]. При этом у ПКЛ происходит значительное разрушение аморфной фазы, что приводит к резкому увеличению степени кристалличности в 1,3 раза [3].

Говоря про биоразлагаемость полимерных композитов важную роль, играет структура материала. Основной задачей является фрагментация длинных цепей полимера. Образовавшиеся низкомолекулярные фрагменты становятся субстратом для микроорганизмов, чья активность реализуется через вне- и внутриклеточные ферменты. Наибольшую роль в этом процессе отводят грибам, поскольку их гидрофобные белки способны связываться с поверхностью полимеров [4]. Кроме того, отмечена высокая восприимчивость поликапролактона (ПКЛ) к биодеструкции грибковыми культурами [5].

Экспериментально подтверждена ускоренная биодеструкция композита с ПКЛ, что выражается в биообрастании материала через 90 суток и росте степени кристалличности ПКЛ вследствие разрушения его аморфной фазы. Для ПКЛ зафиксировано увеличение температуры плавления и повышение степени

кристалличности, что указывает на деструкцию аморфной фазы и начало разрушения материала. Наблюдаемые изменения структуры и свойств композитов при инкубации в почве обусловлены комплексным воздействием микробиоты и влаги [6]. В увлажненной среде запускается ферментативный гидролиз сложноэфирных связей, скорость которого зависит от температуры и активности микроорганизмов.

Рассматривая гидролиз можно отметить роль морфологии, наличие межфазной структуры определяет доступ воды к каждому компоненту и глубину деградации [7]. В целом гидролиз в обоих случаях идет через разрыв сложных эфиров, приводя к убыли молекулярной массы и образованию карбоновых кислот, однако скорость и механизм процесса зависят от состава и структуры смесей.

Выводы

Экспериментально подтверждена эффективность создания гибридных полимерных матриц на базе полиэтилена с добавлением ПКЛ, ПЛА и вторичного сырья. Установлено, что введение ПЛА запускает механизм фотодеструкции, а ПКЛ активизирует процесс биоразложения в почвенной среде. Использование вторичного полиэтилена не только решает проблему утилизации отходов, но и интенсифицирует распад материала. Полученные композиты сохраняют необходимые эксплуатационные характеристики, но при этом приобретают способность к ускоренной деградации после окончания срока службы, что снижает риск загрязнения окружающей среды микропластиком.

Работа выполнена при финансовой поддержке РЭУ им. Г.В. Плеханова.

Литература

1. Носова А.О., Успенская М.В. Микропластик в почве: воздействие на экосистемы, потенциальные источники и аналитические методы исследования (обзор) // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 4(44). С. 19-37. DOI 10.25699/SSSB.2022.44.4.001.
2. Tertyshnaya Yu.V., Podzorova M.V., Moskovskiy M. Impact of Water and UV Irradiation on Non-Woven Polylactide/Natural Rubber Fiber // Polymers. 2021. Vol. 13. P. 461. DOI 10.3390/polym13030461.
3. Fairbrother A., Hsueh H.-C., Kim J. H., Jacobs D. [et al.] Temperature and light intensity effects on photodegradation of high-density polyethylene // Polymer Degradation and Stability. 2019. Vol. 165. P. 153-160. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.002.
4. Kim D.Y., Rhee Y.H. Biodegradation of microbial and synthetic polyesters by fungi // Applied Microbiology and Biotechnology. 2003. Vol. 61. P. 300-308. DOI 10.1007/s00253-002-1205-3.
5. Abdel-Motaal F.F., El-Sayed M.A., El-Zayat S.A., Ito S.-i. Biodegradation of poly (ϵ -caprolactone) (PCL) film and foam plastic by *Pseudozyma japonica* sp. nova, a novel cutinolytic ustilaginomycetous yeast species // 3 Biotech. 2014. Vol. 4, No 5. P. 507-512. DOI 10.1007/s13205-013-0182-9.
6. Тertyшная Ю.В., Хватов А.В., Подзорова М.В. [и др.] Разрушение в почве нетканых волокнистых материалов полилактид/натуральный каучук: структурные эффекты // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. No 5. С. 32-40.
7. Tertyshnaya Y.V., Karpova S.G., Popov A.A. Effect of Aqueous Medium on the Molecular Mobility of Polylactide // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2017. Vol. 11. P. 531-537.