

УДК 678.5

DOI 10.26118/2686-7036.2025.60.78.029

Ситникова Юлия Алексеевна

студент

Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ
г. Волжский, Россия

Соколова Наталья Александровна

старший преподаватель

Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ
г. Волжский, Россия

ORCID 0000-0003-2304-405X

Хлобжева Инна Николаевна

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ВТПЭ
Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

г. Волжский, Россия

ORCID 0000-0002-0068-9667

Композиционные материалы на основе биоразлагаемых полимеров как инструмент сокращения полимерных отходов для безопасности окружающей среды

Аннотация. В последние годы наблюдается рост использования полимерных материалов. Параллельно с этим обостряется проблема утилизации полимерных отходов по окончании срока эксплуатации изделий, что является угрозой экологической безопасности. Поэтому становятся актуальными исследования, направленные на создание и внедрение в практику полимерных материалов, способных к биоразложению.

В статье рассматривается получение и исследование физико-механических свойств и способности к биодegradации композиционных материалов на основе биоразлагаемых полимеров.

Ключевые слова: биополимеры, биоразложение, композиционные материалы, экологическая безопасность, грибостойкость, физико-механические свойства.

Sitnikova Yulia Alekseevna

Student

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of VSTU
Russia, Volzhsky

Sokolova Natalia Aleksandrovna

Senior Lecturer

Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of VSTU
Russia, Volzhsky

ORCID 0000-0003-2304-405X

Khlobzheva Inna Nikolaevna

Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of VTPE
Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of VSTU

Russia, Volzhsky

ORCID 0000-0002-0068-9667

Composite materials based on biodegradable polymers as a tool for reducing polymer waste for environmental safety

Abstract. In recent years, there has been an increase in the use of polymeric materials. At the same time, the problem of recycling polymer waste at the end of the product's service life is

becoming more acute, which is a threat to environmental safety. Therefore, research aimed at creating and introducing into practice polymeric materials capable of biodegradation is becoming relevant.

The article discusses the production and study of the physical and mechanical properties and biodegradability of composite materials based on biodegradable polymers.

Keywords: biopolymers, biodegradation, composite materials, environmental safety, fungus resistance, physical and mechanical properties.

Введение

Чрезмерное накопление традиционных полимерных композиционных материалов, вследствие неправильной утилизации, представляет опасность для окружающей среды. Рост экологических проблем повышает интерес к исследованию композиционных материалов на основе биоразлагаемых полимеров, которые обладают рядом преимуществ: экономичность и способность разлагаться под действием физических, химических и биологических факторов с вовлечением продуктов распада в естественный круговорот веществ [1]. В процессе биодegradации этих материалов образуются натуральные компоненты, которые стимулируют рост растений, улучшают состояние почвенной микрофлоры и способствуют поддержанию экологической безопасности за счет уменьшения полимерных отходов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись биоразлагаемые композиционные материалы на основе биополимеров или материалов, содержащих биополимеры: свекловичный жом, микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) и поливиниловый спирт (ПВС), поливиниловый спирт и яблочный пектин, желатин и метилцеллюлоза (МЦ), банановая кожура.

Разработанные рецептуры основаны на адаптированных патентах и научных публикациях [2-6]. В модифицированной рецептуре на основе свекловичного жома крахмал заменен [2] метилцеллюлозой и скорректировано содержание компонентов; в рецептуре на основе МКЦ и ПВС вместо крахмал [3] использовалась микрокристаллическая целлюлоза; в рецептуре на основе ПВС и пектина цитрусовый пектин [4] заменен на яблочный. Для рецептуры на основе желатина и МЦ было изменено содержание компонентов [5]. Не подвергалась изменению состава рецептура на основе банановой кожуры, но была изменена методика: смесь кипятили при 100°C и в исследуемом образце использовалась измельченная банановая кожура вместо пасты [6].

Для получения свекловичного жома свекла очищалась от кожицы и измельчалась в блендере, высушивалась в течение 7 суток при комнатной температуре. Высушенные частицы измельчались в механической мельнице до размера 0,05-2 мм.

Банановая кожура промывалась, измельчалась с помощью ножниц, затем ее кипятили в воде в течение 30 минут. Кожуру оставляли сушиться в течение 5 суток при комнатной температуре с последующим измельчением в механической мельнице до размера частиц 0,02-2 мм.

Определение водопоглощения образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 4650-2014. Водопоглощение вычисляли в процентах.

Определение физико-механических показателей проводилось в соответствии с ГОСТ 11262-80 на разрывной машине SHIMADZU SLBL-1KN. Испытывали образцы размером 50×10 мм.

Определение стойкости образцов к воздействию плесневых грибов проводили согласно ГОСТ 9.049-91. Образцы заражали водной суспензией спор гриба *Trichoderma viride*. Продолжительность испытаний составила 28 суток. Оценку грибостойкости по интенсивности развития грибов на образцах осуществляли по пятибалльной шкале и с помощью микроскопии.

Определение устойчивости образцов к микробиологическому разрушению проводилось в соответствии с ГОСТ 9.060-75. Образцы размером 20×20 мм инкубировали в стеклянные сосуды, наполненные влажной почвой, на глубину 1 см. Выдерживали в

сушильном шкафу ШС-80Т УХЛ-4.2 при 28°C и поддерживали влажные условия посредством орошения почвы водой с периодичностью один раз в 7 суток. Исследование проводилось на протяжении 90 суток в трех типах почв: почва с полигона ТБО (рН=6,5), садовая (рН=4,7), почва садовая, обработанная электроимпульсным разрядом (рН=5,7). Определение проводилось по уменьшению массы образцов.

Для определения микроструктуры полученных образцов использовали стереоскопический микроскоп Альтами и цифровой микроскоп Andonstar AD407.

Обсуждение полученных результатов

По рецептурам на основе МКЦ и ПВС, ПВС и пектина, желатина и МЦ были получены пленочные материалы. По рецептурам на основе свекловичного жома и банановой кожуры были получены волокнистые материалы.

Образцы исследовались на водопоглощение, прочность на растяжение и удлинение при разрыве.

Результаты исследования водопоглощения представлены в табл. 1

Таблица 1.

Результаты водопоглощения образцов

Рецептура, №	Основа композиции	Водопоглощение, %
1	Свекловичный жом	1260,51
2	МКЦ и ПВС	211,85
3	ПВС и пектин	556,75
4	МЦ и желатин	351,29
5	Банановая кожура	504,74

Анализ полученных результатов показал, что все образцы характеризуются высокой водопоглощительной способностью. Как видно из таблицы, выделяются рецептуры, обогащенные пектиновыми веществами (на основе свекловичного жома, ПВС и пектина, банановой кожуры).

Результаты исследования физико-механических показателей исследуемых образцов представлены в табл. 2

Таблица 2

Результаты физико-механических показателей образцов

Рецептура, №	Основа композиции	Прочность при растяжении (f_p), МПа	Относительное удлинение при разрыве ($\epsilon_{отн}$), %
1	Свекловичный жом	2,06	33,0
2	МКЦ и ПВС	1,07	121,7
3	ПВС и пектин	10,50	14,0
4	МЦ и желатин	10,00	50,0
5	Банановая кожура	—	—

Среди исследуемых образцов наибольшей прочностью обладают рецептуры образцов №3 и №4. В композиции №2 наименьшая прочность, но максимальное удлинение при разрыве. Рецептатура №2 требует доработки состава или же должны быть рассмотрены варианты применения, где такие характеристики могут быть востребованными. Физико-механические показатели не удалось определить у образцов по рецептуре №5, поскольку композит получился хрупким, и требует доработки.

Результаты исследования грибостойкости показали, что все исследуемые образцы обладают невысокой грибостойкостью, что хорошо показывает их способность к биодegradации. Наименьшая грибостойкость у композитов на основе свекловичного жома и банановой кожуры, т.к. содержат в составе вещества только природного происхождения. Образец на основе МКЦ и ПВС меньше всех подвержен разрушению грибами, поэтому данному композиту требуется больше времени для биоразложения.

Результаты исследования устойчивости образцов к микробиологическому разрушению представлены в таблице 3.

Анализ полученных результатов показал, что все исследуемые образцы подвергаются биоразложению. У некоторых образцов наблюдалось увеличение массы, что можно объяснить следующими причинами: после испытания образцов в почве не всегда удается полностью очистить их от налипших почвенных частиц; внедрение внутрь клеток бактерий и гифов грибов может привести к увеличению массы за счет биомассы микроорганизмов.

Изменения, произошедшие в исследуемых образцах после экспозиции в почве, были исследованы с использованием стереоскопического микроскопа Альтами. Микроскопические исследования подтвердили, что все образцы подвергались биоразложению, но образцы под №2 и №3 в меньшей степени, возможно для их более полного биоразложения требуется большее время инкубации.

Таблица 3.

Результаты устойчивости к микробиологическому разрушению

Рецептура, №	Основа композиции	Масса образца, г		Потеря массы, %	Почва
		До испытаний	После испытаний		
1	Свекловичный жом	0,493	0,232	52,94	электроимпульс
		0,554	0,479	13,54	полигон ТБО
		0,387	–	100,00	садовая
2	МКЦ и ПВС	0,027	0,014	48,15	электроимпульс
		0,03	0,018	40,00	полигон ТБО
		0,019	0,014	26,32	садовая
3	ПВС и пектин	0,015	0,038	-153,33	электроимпульс
		0,007	0,054	-671,43	полигон ТБО
		0,008	0,018	-125,00	садовая
4	МЦ и желатин	0,055	–	100,00	электроимпульс
		0,055	0,034	38,18	полигон ТБО
		0,054	–	100,00	садовая
5	Банановая кожура	0,303	0,416	-37,29	электроимпульс
		0,456	0,505	-10,75	полигон ТБО
		0,238	0,210	11,77	садовая

Все образцы подвергаются биодegradации во всех типах почв. Сильнее всего подвержены биодegradации образцы, полученные полностью из природных компонентов (№1 и №5), что подтвердило предыдущее исследование этих образцов по потере массы.

Заключение

По своим физико-механическим характеристикам композиты, полученные по рецептурам №2, 3, 4 могут использоваться как пленочные материалы, например для получения биоразлагаемой упаковки, которая может использоваться в том числе и для упаковки продуктов питания.

Композиты образцов №1 и 5 могут найти применение как формовочные материалы, например стаканчики для рассады овощных и ягодных культур. Кроме того, в результате

последующего разложения в почве, компоненты таких стаканчиков обогащают почву питательными элементами и улучшают ее структуру.

Все образцы имеют низкую грибостойкость и подвергаются биоразложению в различных типах почв. Следовательно, исследуемые композиционные материалы на основе биоразлагаемых полимеров, будут способствовать улучшению экологической ситуации за счет участия в круговороте веществ на последнем этапе биодеградации, и уменьшения загрязнения традиционными полимерами. При разложении такие материалы будут возвращать природные компоненты в почву, тем самым улучшая ее.

Список источников

1. Крутько Э.Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1–48.01.02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1–48.01.02.04 «Технология пластических масс» / Э.Т. Крутько, Н.Р. Прокопчук, А.И. Глоба. – Минск : БГТУ, 2014. – 105 с.
2. Патент RU 2709883 С1. Биоразлагаемое вещество на основе природных полимеров / Н. Е. Павловская, А. Ю. Гаврилова, И. Н. Гагарина [и др.] // Дата публикации: 23.12.2019.
3. Патент RU 2796732 С1. Композиция для получения биоразлагаемого полимерного материала и биоразлагаемый полимерный материал на ее основе / Никифорова Т.Е., Гузенко О.А. // Дата публикации: 29.05.2023.
4. Suhasini, M.R., Rajeshwari, K.M., Bindya, S., [et al]. Pectin/PVA and pectin-MgO/PVA films: Preparation, characterization and biodegradation studies. // Heliyon. – 2023. – Vol. 9. – №5. DOI 10.1016/j.heliyon.2023.e15792.
5. Патент RU 2395540 С2. Способ получения композиций, подвергающихся биодеструкции, на основе простого эфира целлюлозы / Аванесян С. С., Андрусенко С. Ф., Воробьева О. В., [и др.] // Дата публикации: 27.07.2010.
6. Arifa Shafqat, Nabil Al-Zaqri, Arifa Tahir, Ali Alsalmeh. Synthesis and characterization of starch based bioplastics using varying plant-based ingredients, plasticizers and natural fillers. // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2021. – Vol. 28. – № 3. – P. 1739-1749. DOI 10.1016/j.sjbs.2020.12.015.