

УДК 547.458.61

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛОТОЙ ЛУЗГИ В КАЧЕСТВЕ
НАПОЛНИТЕЛЯ В БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ****Е. Н. ПОДДЕНЕЖНЫЙ, Н. Е. ДРОБЫШЕВСКАЯ, А. А. БОЙКО***Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь***В. М. ШАПОВАЛОВ***Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем
имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель***Н. С. ДРОБЫШЕВСКИЙ***ООО «Био108», г. Дзержинск, Российская Федерация*

Биоразлагаемые материалы на основе полимерных матриц и органического природного наполнителя – молотой лузги риса, гречихи и подсолнечника – были изготовлены в форме прессованных дисковых образцов и экструзионных лент. В качестве полимерных матриц были использованы полипропилен, диацетат целлюлозы и полилактид. Установлено, что полученные биоразлагаемые материалы содержат хаотически расположенные в полимерной матрице частицы наполнителя. В заводских условиях были сформованы изделия на основе полипропилена и рисовой лузги. Изучены возможности биологического разложения полученных материалов.

Ключевые слова: биоразлагаемые материалы, лузга, полимерные матрицы.

**USE OF GROUND HUSK AS FILLER
IN BIODEGRADABLE MATERIALS****E. N. PODDENEZHNY, N. E. DROBYSHEVSKAYA, A. A. BOIKO***Educational Institution “Sukhoi State Technical University
of Gomel”, the Republic of Belarus***V. M. SHAPOVALOV***The State Scientific Institution “V. A. Belyi Metal-Polymer
Research Institute of National Academy of Sciences
of Belarus”, Gomel***N. S. DROBYSHEVSKY***LLC “Bio108”, Dzerzhinsk, Russian Federation*

Biodegradable materials based on polymer matrices and organic natural filler – ground husks of rice, buckwheat and sunflower were made in the form of pressed disk samples and extrusion tapes. Polypropylene, cellulose diacetate and polylactide were used as polymer matrices. It has been found that the resulting biodegradable materials contain particles of filler randomly located in the polymer matrix. In factory conditions, polypropylene-based products and rice husks were formed. The possibilities of biological decomposition of the obtained materials have been studied.

Keywords: biodegradable materials, husk, polymer matrices.

Введение

Наполнение полимеров такими лигноцеллюлозными материалами природного происхождения, как древесная мука, солома, оболочки семян, удешевляет полимерные композиции, позволяя создавать новые биоразлагаемые составы и значительно уменьшать экологическую нагрузку на природу после использования производимых из них потребительских товаров [1–4]. Это особенно важно для растущего рынка упаковочных материалов, одноразовой посуды и различного рода контейнеров.

В последнее время значительное развитие получило направление создания биоразлагаемых материалов на основе гидрофобных полимерных матриц, наполненных различными видами лузги (шелухи) злаковых и масличных культур, – отходов, остающихся после первичной обработки зерна и семян подсолнечника на предприятиях пищевой промышленности.

При производстве таких композиционных материалов и изделий из них возникают задачи дробления, размола и рассева порошка лузги по фракциям, проблемы совместимости наполнителя и полимерной матрицы [5]. Примеры формования и результаты изучения характеристик подобных материалов приводятся в ряде научных статей и патентов [6–11], однако вопросы подбора совмещающих агентов, проблемы повышения однородности и биоразлагаемости до сих пор остаются актуальными.

Настоящая работа посвящена описанию методов получения и исследованию некоторых свойств биоразлагаемых материалов, формируемых на основе ряда полимеров – полипропилена, диацетата целлюлозы, полилактида, наполненных порошками рисовой, гречневой и подсолнечной лузги.

Материалы и методы исследования

Для получения экспериментальных образцов биоразлагаемых материалов были использованы следующие исходные материалы:

- 1) гомополипропилен марки PP H120 GP/3;
- 2) диацетат целлюлозы марки Eastman Chemical;
- 3) полилактид марки INGEO™ 4043 D;
- 4) полиамид ПА11 марки Rilsan®.
- 5) поливиниловый спирт марки 16/1 (ГОСТ 10779–78);
- 6) этиленвинилацетат марки Сэвилен, ТУ 2211-211-00203335–2013;
- 7) порошки рисовой, гречневой и подсолнечной лузги.

В качестве лубрикантов и технологических добавок в композициях использовали моностеарат глицерина HG-60, пропиленгликоль пищевой марки А (ТУ 2422-069-05766801–97), воск полиэтиленовый ПВ-200, масло подсолнечное рафинированное.

Для изучения структурных свойств и морфологии композиционных материалов использованы методы оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (микроскоп TESCAN, Чехия).

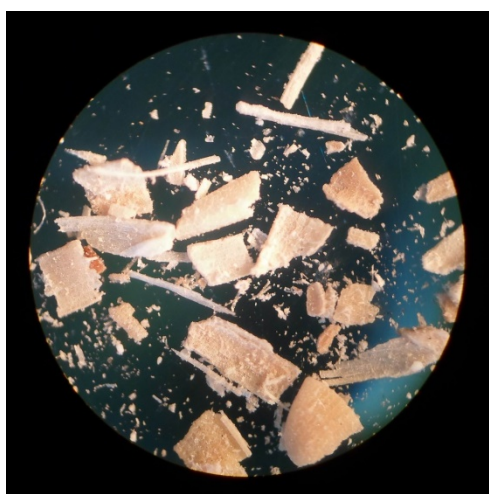
Ленточные экспериментальные образцы композитов вытягивали на одношнековом экструдере HAAKE RHEOCORD 90 (Германия), диаметр шнека – 20 мм, длина шнека – 500 мм, скорость вращения – 50 об/мин. Показатель текучести расплава определяли с помощью прибора ИИРТ-5М. Испытания на прочность до разрыва и относительное удлинение образцов проводили на разрывной машине Instron 5969 при комнатной температуре.

Опытные образцы листа на основе полипропилена и рисовой лузги, а также ряда биоразлагаемых изделий получали с помощью двухшнекового экструдера FJL-750PC120 (Китай) и формовочной машины SZ-750 (Китай).

Экспериментальные результаты и их обсуждение**Формирование композиционных материалов с наполнением рисовой лузгой**

Рисовая лузга (шелуха) обладает рядом уникальных свойств и является одним из перспективных природных наполнителей для биоразлагаемых композитов [9–10]. По химическому составу она близка к древесине, включает в себя целлюлозу (28–48 %), лигнин (12–16 %) и гемицеллюлозу (23–28 %) [11]. В отличие от древесины в рисовой лузге содержится до 19 % кремнезема, что обеспечивает ей повышенную термостойкость. Лузга выдерживает нагрев до 200 °С, и это позволяет использовать ее в экструдированных композитах с высокотемпературными матрицами – полипропиленом, полиамидом. Рисовая лузга легко измельчается на шаровых и центробежных мельницах до состояния порошка с размером частиц 80–140 мкм.

В предварительных экспериментах было установлено, что наиболее приемлемым в качестве наполнителя в биопластики является порошок лузги с размерами частиц 100–140 мкм (рис. 1, а).



а)



б)

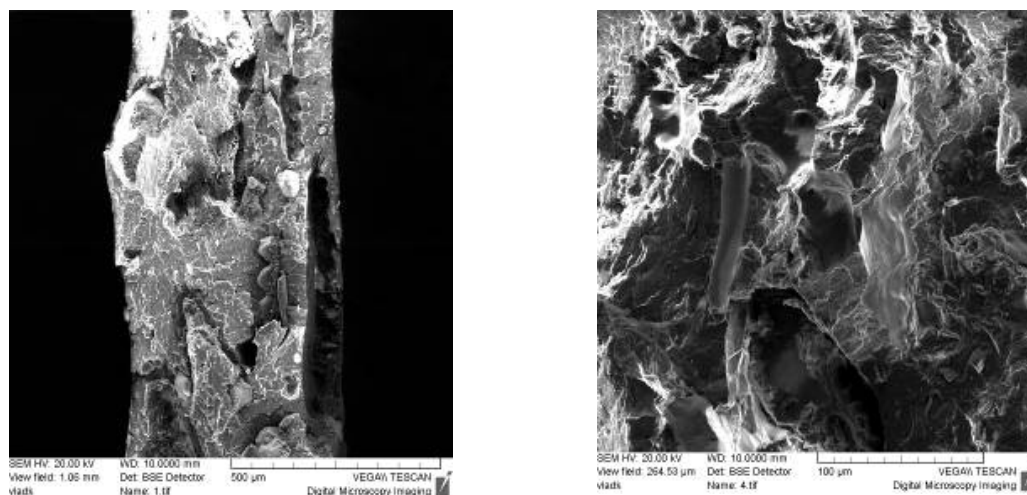
Рис. 1. Изделия из лузги:

а – порошок с размером частиц 100–140 мкм. Увеличение $\times 200$;

б – одноразовые изделия, полученные на формовочной машине

Лабораторные образцы композиционных лент получали следующим образом. Гранулы полипропилена смешивают с совмещающим агентом, крахмалом и лубрикантами в скоростном обогреваемом миксере при температуре 80–90 °С, затем в смеситель добавляют порошок рисовой лузги, продолжают перемешивание для получения гомогенной шихты, затем снижают температуру до 25–30 °С и после этого смесь извлекают из миксера. Далее смесь загружают в одношнековый экструдер для расплавления и гомогенизации. Температура расплава на выходе из щелевой головки экструдера – 185–190 °С. Полученный расплав поступает на каландр, охлаждается и формируется в виде ленты.

Исследования на растровом электронном микроскопе подтвердили предположение, что распределение частиц лузги в матрице полипропилена достаточно однородное, однако в связи с гидрофильной природой наполнителя совмещение его с гидрофобной матрицей полипропилена вызывает необходимость введения совмещающего агента – этиленвинилацетата. Добавление растительного масла повышает однородность распределения частиц наполнителя в матрице полимера (рис. 2). В табл. 1 приведены результаты испытаний ленточных образцов.



а)

б)

Рис. 2. СЭМ-изображение скола ленты, полученной с использованием в качестве наполнителя рисовой лузги при разном увеличении: а – 500 мк; б – 100 мк

Таблица 1

Технические характеристики ленточных образцов, полученных на одношнековом экструдере

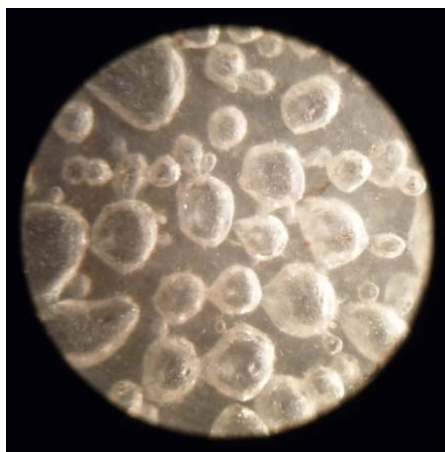
Определяемые параметры	Методы испытаний	Контроль (полипропилен)	Параметры в зависимости от состава
Показатель текучести расплава, г/10 мин, при 230 °С	ГОСТ 11645–73	13,5	2,8–4,6
Прочность при растяжении до разрыва, МПа	ГОСТ 26996–86	24,5–39	11,0–14,5
Относительное удлинение, %	ГОСТ 26996–86	200	5,0–15,0
Водопоглощение за 24 часа, мас. %	ГОСТ 4650–80	0,01–0,03	4,6–6,5
Биологическая разрушаемость после срока эксплуатации	ГОСТ Р 54530–2011	200 лет	12–13 месяцев

В результате проведенных исследований получены экспериментальные образцы термопластичной композиции с температурой размягчения 95–100 °С, включающей полипропилен (40–50 мас. %) биоразлагаемый наполнитель – рисовую лузгу (35–45 мас. %) и технологические добавки – сэвилен, моностеарат глицерина, подсолнечное масло и воск полиэтиленовый, изделия из которой могут разрушаться после эксплуатации под действием влаги и микробиологической среды компоста за период от 12 до 24 месяцев в зависимости от состава [12].

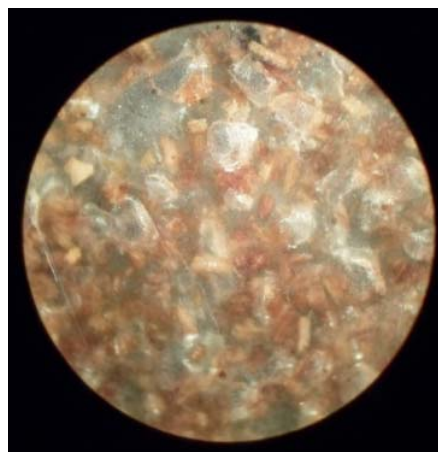
Опытные образцы в виде изделий различного назначения (одноразовые тарелки, лотки, крышки для стаканов) получали на производстве ООО «Био108», г. Дзержинск, Российская Федерация с использованием двухшнекового экструдера (рис. 1, б).

Решением проблемы ускорения биоразложения полимерных композитов в соответствии с международными стандартами ISO 16929 : 2013 может быть создание

композиционных материалов на основе полипропиленовой матрицы с регулируемой пористостью (рис. 3, а) и с добавлением в состав азот-, фосфоросодержащих соединений – нутриентов для бактериальной среды (рис. 3, б). В качестве еще одного варианта создания быстро разлагаемых композитов предлагается использование в качестве матрицы биоразлагаемых полимеров, например, полилактида или диацетата целлюлозы (рис. 4). Такие композиты могут полностью разлагаться во влажной почве или в компосте за период 6–12 месяцев.



а)



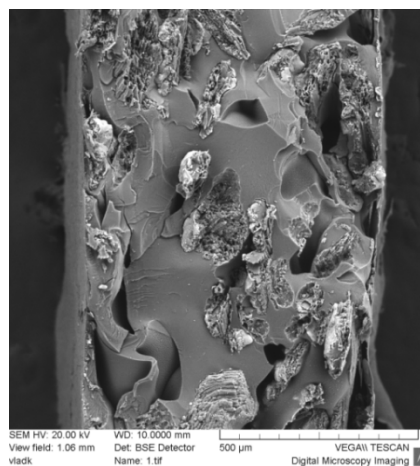
б)

Рис. 3. Композиционные материалы:

а – химически вспененный полипропилен, плотность – $0,73 \text{ г/см}^3$;
 б – композит «полипропилен – рисовая лузга», плотность – $0,43 \text{ г/см}^3$,
 вспенивающий агент – NaHCO_3 с лимонной кислотой,
 биоразлагающая добавка – $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$. Увеличение $\times 200$



а)



б)

Рис. 4. СЭМ-изображение биоразлагаемых композитов на основе диацетата целлюлозы:

а – «диацетат целлюлозы – карбамид – рисовая лузга (100–140 мкм) – Na_2HPO_4 »;
 б – «диацетат целлюлозы – пропиленгликоль – рисовая лузга (140–250 мкм)»

Формирование композиционных материалов с наполнением гречневой лузгой

Используемая в качестве биоразлагаемого наполнителя гречневая лузга – природный наполнитель растительного происхождения, содержащий до 50 % клетчатки,

3–4 % сырого протеина, 4–5 % жира, 0,2–0,3 % сахаров, 9–10 % золы, в том числе 0,036 % фосфора, 0,015 % натрия, 0,06 % калия (рис. 5, а) [13].

Известно несколько патентов по созданию биоразлагаемых материалов с использованием гречишной лузги и полиолефинов в качестве гидрофобной матрицы [14, 15]. Так, в патенте [15] описана термопластичная композиция для изготовления изделий с наполнителем – шелухой гречихи в воздушно-сухом состоянии, а в качестве матрицы используется термопластичный полимер – полиэтилен в количестве до 80 мас. %. В смесь вводят технологические добавки, составляющие 8–10 % от массы смеси. Однако предлагаемый состав характеризуется медленным химическим и биологическим разрушением за счет большого количества термопластичного полимера, обволакивающего частицы шелухи, препятствующего их набуханию и доступу к их поверхности воды, кислорода и микроорганизмов.

В научно-исследовательской лаборатории «Техническая керамика и наноматериалы» проведены эксперименты по созданию биоразлагаемой термопластичной композиции с гречневой лузгой и с уменьшенным периодом биоразложения на основе новой матрицы, в качестве которой использовали смесь полиамида ПА11 и поливинилового спирта с добавлением пропиленгликоля в качестве пластификатора.



Рис. 5. Микрофотографии:
а – частицы шелухи гречихи; б – участок образца композита, наполненного гречневой лузгой. Увеличение $\times 200$

Термопластичный полиамид ПА11 получают из возобновляемого натурального источника, которым является касторовое масло, добываемое из семян клещевины (*Ricinus Communis*), считается экологически безопасным материалом, допущен для использования в контакте с пищевыми продуктами. Особенностью полиамида ПА11 является довольно большой процент водопоглощения при комнатной температуре, составляющий 1,2 мас. % за 24 часа в отличие от полиэтилена, (для полиэтилена низкой плотности процент водопоглощения составляет 0,02 мас. %). Полиамид ПА11 является хрупким полимером, поэтому для улучшения процессов экструзии и последующего формования изделий используется жидкий пластификатор – пропиленгликоль.

Частицы гречневой лузги обладают гидрофобно-гидрофильной поверхностью, поэтому совместимы с гидрофобным полимером – полиамидом. Поливиниловый спирт относится к синтетическим биоразлагаемым веществам, хорошо набухает в воде, что создает дополнительный источник водопоглощения композиционного ма-

териала. Известно, что поливиниловый спирт в количестве 5–10 мас. % смешивается при плавлении с полиамидами на молекулярном уровне за счет взаимодействия гидроксильных групп поливинилового спирта с амидными группами полиамида [16], что формирует однородную матрицу – основу композиционного материала.

Формирование ленточных образцов осуществляют следующим образом. Очищенную и подсушенную при 105 °С в течение 2–3 часов лузгу измельчают, затем рассеивают на вибросите до состояния порошка с размерами частиц менее 250 мкм.

Порошок полиамида ПА11 смешивают с порошком поливинилового спирта, пропиленгликолем и порошком гречневой лузги в скоростном турбосмесителе, выдерживают смесь при вращении 15 минут, затем поднимают температуру в смесителе и при вращении выдерживают смесь при 90–105 °С в течение 20–30 минут для получения гомогенной шихты и удаления избыточной влаги, затем охлаждают смесь до температуры 25–30 °С и после этого смесь загружают в экструдер для расплавления и гомогенизации при температуре 160–180 °С, затем расплав поступает на каландр, охлаждается и в виде ленты толщиной 0,5–0,6 мм закручивается в рулон.

Результаты измерений некоторых характеристик материала полученной ленты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики материала композита ленточного образца

Определяемые параметры	Методы испытаний	Контроль (полиамид ПА11)	Характеристики
Плотность	ГОСТ 15139–69	1,04	1,24
Водопоглощение за 24 часа, мас. %	ГОСТ 4650–80	1,3	25,3
Потеря массы за 8 месяцев, %	ГОСТ 9 060–75	Не разлагается	56,5

В результате проведенных экспериментов с матрицей в виде смеси полиамида ПА11 и поливинилового спирта получена термопластичная композиция с использованием биоразлагаемого наполнителя – лузги гречихи, с улучшенными характеристиками по сравнению с известными аналогами, т. е. более высокой температурой размягчения (110 °С), а также уменьшенным периодом биологической разрушаемости. Композиционный материал оптимизированного состава разрушается более чем на 50 % после эксплуатации изделия под действием влаги и микрофлоры почвы за 8 месяцев.

Формирование композиционных материалов с наполнением лузгой подсолнечника

В состав лузги подсолнечника входят целлюлоза (27–30 %), пентозаны (20–25 %), уроновые кислоты (4–6 %), лигнин (27–28 %), а также смолы, воски, азотсодержащие вещества (рис. 6, а) [17].

Очевидно, что наличие в составе лузги подсолнечника смол и восков будет способствовать формированию прочных связей между полимерной матрицей и наполнителем, а наличие целлюлозы и азотсодержащих компонентов приведет к ускоренному биоразложению после использования изделий из композитов «полимер – лузга».

Полилактид является промышленным биоразлагаемым полимером молочной кислоты, получаемым путем сбраживания углеводсодержащего природного сырья – кукурузы, пшеницы, сахарного тростника. Температура плавления – 170–180 °С, температура размягчения – 58–60 °С [18].

Экспериментальные образцы в виде горячепрессованных дисков на основе полилактида марки INGEO™ 4043 D с наполнителем (молотой подсолнечной лузгой) получали следующим образом.

Очищенную и подсушенную при 105 °С в сушильном шкафу в течение 2–3 часов лузгу измельчали на лабораторной центробежной мельнице, затем рассеивали на сите до порошка с размерами частиц менее 0,25 мм.

Порошок полилактида смешивают с порошком полиэтиленгликоля ПЭГ-4000, добавляют в смесь моностеарат глицерина, перемешивают компоненты в скоростном обогреваемом турбосмесителе – миксере при температуре 100–120 °С в течение 20 минут, затем в смеситель постепенно добавляют порошок лузги, повышают температуру до 125 °С, продолжают нагрев смеси в течение 30 минут для получения однородной шихты и удаления избыточной влаги, затем охлаждают смесь до 25–30 °С и извлекают из миксера.

Далее шихту в форме цилиндрической таблетки помещают в нагреваемый пресс между двумя фторопластовыми пластинами. Нагрев производят до температуры 175 °С и выдерживают образец в течение 15 минут под давлением 0,5 МПа.

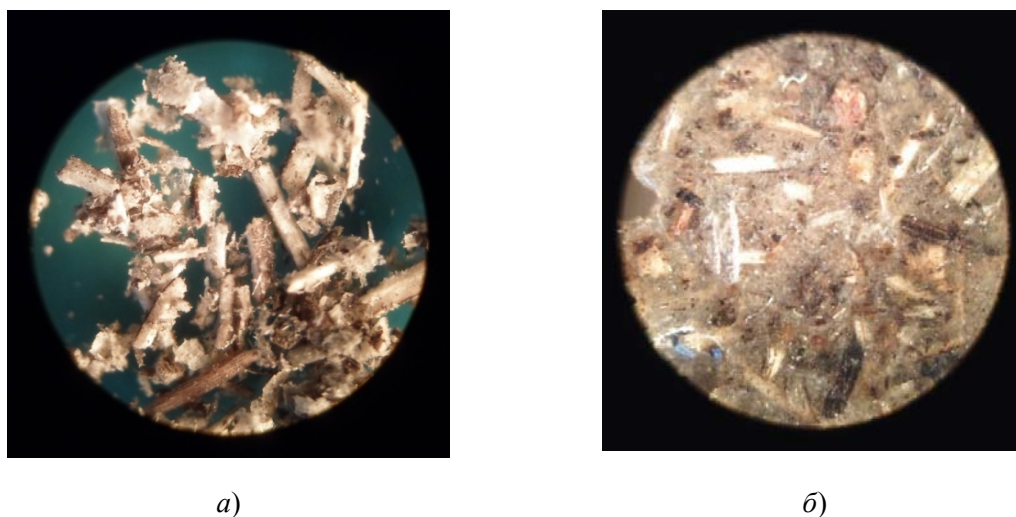


Рис. 6. Микрофотографии :
а – лузга подсолнечника; б – композит на основе полилактида INGEO™ 4043 D и шелухи. Увеличение $\times 200$

В результате получают дисковый образец (рис. 6, б) толщиной 0,5 мм с плотностью 1,12–1,24 г/см³ в зависимости от количества наполнителя (ГОСТ 15139–69) и водопоглощением за 24 часа в диапазоне 12,6–25,3 мас. % (ГОСТ 4650–80). Такие композиты могут разлагаться во влажной почве или в компосте за период 5–6 месяцев.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы.

Разработаны составы и изготовлены образцы композиционных материалов в форме дисков и ленты с наполнением порошками рисовой, гречневой и подсолнечной лузги.

На производстве ООО «Био108» получен листовой композиционный материал на основе полипропилена и порошка рисовой лузги, из которого методом термоформования были изготовлены опытные партии одноразовых изделий.

Показано, что решением проблемы ускорения биоразложения полимерных композитов с наполнением рисовой лузгой может быть создание композиционных материалов с регулируемой пористостью и с добавлением тонкодисперсных нутриентов

для бактериальной среды, а также при использовании в качестве матрицы биоразлагаемых полимеров, например, диацетата целлюлозы. Такие композиты могут разлагаться полностью во влажной почве или в компосте за 6–12 месяцев.

Проведены эксперименты по получению биоразлагаемой термопластичной композиции с наполнением гречневой лузгой и уменьшенным периодом биоразложения на основе новой матрицы, в качестве которой использовали смесь полиамида и поливинилового спирта. Композиционный материал оптимизированного состава разрушается более чем на 50 % после эксплуатации изделия под действием влаги и микрофлоры почвы за 8 месяцев.

Разработаны составы и изготовлены экспериментальные образцы в виде горячепрессованных дисков на основе биоразлагаемого полимера – полилактида с наполнителем – молотой подсолнечной лузгой. Такие композиты могут разлагаться во влажной почве или в компосте в течение 5–6 месяцев.

Работа выполнена в рамках задания 8.4.1.17 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы», финансируемого из средств республиканского бюджета по государственным программам научных исследований на 2023 г. в Республике Беларусь.

Литература

1. Chrysanthos, M. Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste. Review / M. Chrysanthos // *Polymers*. – 2020. – N 12. – P. 1127. <https://doi.org/10.3390/polym12051127>
2. Моделирование процесса биодegradации полимерных композитов на основе вторичного полипропилена и природных наполнителей растительного происхождения / М. В. Базунова [и др.] // *Вестн. Башкир. ун-та*. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 56–61.
3. Масталыгина, Е. Е. Факторы, определяющие биоразлагаемость композиций на основе полиолефинов и целлюлозосодержащих наполнителей / Е. Е. Масталыгина, Н. Н. Колесникова, А. А. Попов // *Перспектив. материалы*. – 2015. – № 9. – С. 39–52.
4. Satyanarayana, K. G. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – An overview / K. G. Satyanarayana, G. G. C. Arizaga, F. Wypych // *Prog. Polym. Sci.* – 2009. – № 34. – P. 982–1021.
5. Navas, C. S. Comparative Study of Agroindustrial Wastes for their use in Polymer Matrix Composites / C. S. Navas, M. M. Reboredo, D. L. Ggranados // *Procedia Mater. Sci.* – 2015. – N 8. – P. 778–785.
6. Масталыгина, Е. Е. Структура, свойства и биоразлагаемость тройных композиций – полипропилен, полиэтилен низкой плотности и природные наполнители : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.06 / Е. Е. Масталыгина. – М., 2015. – 158 с.
7. Kenechi, Nwosu-Obieogu. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication-A Review / Nwosu-Obieogu Kenechi, Chiemenem Linus Adekunle Kayode // *American Journal of Materials Synthesis and Processing*. – 2016. – № 1 (3). – P. 32–36. – Mode of access: <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajmspdoi:-10.11648/j.ajmsp.20160103.12>.
8. Hamdan, S. Effect of chemical treatment on rice husk (rh) reinforced polyethylene (pe) composites / S. Hamdan, A. S. Ahmed // *Bioresources*. – 2010. – N 5. – P. 854–869.
9. Mechanical, water absorption, and morphology of recycled polymer blend rice husk flour biocomposites / R. S. Chen [et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2015. – Vol. 132, N 8. – P. 1–12.

- 10 Rassiah, K. Studies on Biodegradability of Rice Husk E-glass / Polypropylene Hybrid Composites / K. Rassiah, B. Paramanathan // *Global Engineers & Technologists Review*. – 2014. – Vol. 4, N 3. – P. 1–5.
- 11 Наполнители аграрного происхождения для древесно-полимерных композитов / А. Е. Шкуро [и др.] // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. – 2014. – Т. 17, № 21. – С. 160–163.
- 12 Биологически разрушаемая термопластичная композиция : пат. № 2724249 Рос. Федерация : МПК С 08 L 101/16. / Ашрапов Ф. У., Ашрапова Т. Ф., Разумейко Д. Н., Бойко А. А., Подденежный Е. Н., Дробышевская Н. Е. ; заявитель ООО «Крам-биопласт». – № 2019113563А ; заявл. 13.03.19 ; опубл. 22.06.20.
- 13 Каминский, В. Д. Гречневая лузга как кормовая добавка / В. Д. Каминский, А. И. Карунский, М. Б. Бабич // *Хранение и переработка зерна*. – 2000. – № 5. – С. 26–31.
- 14 Биоразлагаемый полимерный композиционный материал на основе вторичного полипропилена : пат. № 2678675 Рос. Федерация : МПК С 08 L 97/02 / Кулиш Е. И., Базунова М. В., Садритдинов А. Р., Захаров В. П., Галиев Л. Р., Фахретдинов Р. К. ; заявитель Башкир. гос. ун-т, ООО ЗПИ «Адбтернатива». – № 2018113959А ; заявл. 16.04.2018 ; опубл. 30.01.2019.
- 15 Способ изготовления изделий из лигноцеллюлозных полимерных композиционных материалов : пат. № 2582498 Рос. Федерация : МПК В27N3/04 / Реутов В. А., Лим Л. А., Заболотная А. М., Прищенко Н. А. ; заявитель Дальневост. Федерал. ун-т. – № 2015106744/13А ; заявл. 26.02.2015 ; опубл. 27.04.2016.
- 16 Ramaraj, V. Development of Potentially Biodegradable Polyamide-6 and Polyvinyl Alcohol Blends: Physico-Mechanical Properties, Thermal Properties, and Soil Test / V. Ramaraj, P. Poomalai // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2005. – Vol. 98. – P. 2339–2346.
- 17 Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности (образование и использование) : справочник / редкол.: В. А. Аракелова, В. И. Комаров, И. П. Лепешкин. – М. : Экономика, 1984. – 327 с.
- 18 Роговина, С. З. Влияние олигомеров полиэтиленгликоля на механические свойства и биоразлагаемость композиций на основе полилактида и полисахаридов / С. З. Роговина, К. В. Алексанян, Э. В. Прут // *Изв. Волгоград. техн. ун-та*. – 2015. – № 7 (164). – С. 68–71.

References

1. Chrysanthos, M. *Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste*. *Review. Polymers*, 2020, no. 12, p. 1127. <https://doi.org/10.3390/polym12051127>
2. Bazunova M. V., Hlobistova E. S., Vasukova A. S., Kulish E. I., Zacharov V. P., Fachretdinov R. K., Galiev L. R. Modelirovanie prosessa biodegradatsii polimernich kompozitov na osnove vtorichnogo polipropilena i prirodnykh napolnitelei. *Vestnik Bashkirskogo universiteta = Bulletin of Bashkir University*, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 56–61 (in Russian).
3. Mastalygina E. E., Kolesnikova N. N., Popov A. A. Faktory, opredeliaushyie biopazlagaemost kompozitsie na osnove poliolefinov I tselulozosoderjashih napolniteley. *Prospectivnyye materialy = Prospective materials*, 2015, no. 9, pp. 39–52 (in Russian).
4. Satyanarayana K. G., Arizaga G. G. C., Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – An overview. *Prog. Polym. Sci.*, 2009, no. 34, pp. 982–1021.

5. Navas C. S., Reboredo M. M., Grranados D. L. Comparative study of agroindustrial wastes for their use in polymer matrix composites. *Procedia Mater. Sci.*, 2015, no. 8, pp. 778–785.
6. Mastalygina E. E. *Structura, svoistva i biorazlagaemost troinyh kompozitsyi – polypropilen, poliethylene nizkoi plotnosti I prirodnye napolniteli*. Diss. kand. him. nauk. Moscow, 2015. 158 p. (in Russian).
7. Kenechi Nwosu-Obieogu, Kayode Chiemenem Linus Adekunle. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication-A Review. *American Journal of Materials Synthesis and Processing*, 2016, no. 1 (3), pp. 32–36. Available at: <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajmspdoidoi:-10.11648/j.ajmsp.2016010312> (accessed 28 April 2023).
8. Hamdan S., Ahmed A. S. Effect of chemical treatment on rice husk (rh) reinforced polyethylene (pe) composites. *Bioresources*, 2010, no. 5, pp. 854–869.
9. Ruey Shan Chen, Mohd Hafizuddin Ab Ghani, Mohd Nazry Salleh, Sahrim Ahmad, Mou'ad A. Tarawneh. Mechanical, water absorption, and morphology of recycled polymer blend rice husk flour biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, vol. 132, no. 8, pp. 1–12.
10. Rassiah K., Paramananthan B. Studies on Biodegradability of Rice Husk/E-glass/Polypropyne Hybrid Composites. *Global Engineers & Technologists Review*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 1–5.
11. Shkuro A. E., Gluhih V. V., Krivinogov P. S., Stoyanov O. V. Napolniteli agarnogo proishojdeniya dlya grevesno-polimernyh kompozitov. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan University*, 2014, vol. 17, no. 21, pp. 160–163 (in Russian).
12. Ashrapov F. U., Ashrapova T. F., Razumeiko D. N., Boiko A. A., Poddenezhnyi E. N., Drobyshevskaya N. E. Biodegradable thermoplastic composition. Patent Rossiiskaya Federatsiya, no. 2724249, 2020 (in Russian).
13. Kaminskiy V. D., Karunskiy A. I., Babich M. B. Grechnevaya luzga kak kormovaya dobavka. *Hranenie i pererabotka zerna = Grain storage and processing*, 2000, no. 5, pp. 26–31 (in Russian).
14. Kulish E. I., Bazunova M. V., Sadritdinov A. R., Zakharov V. P., Galiev L. R., Fakhretdinov R. K. Biodegradable polymer composite material based on recycled polypropylene. Patent Rossiiskaya Federatsiya, no. 2678675, 2019.
15. Reutov V. A., Lim L. A., Zabolotnaya A. M., Prishchenko N. A. Method for manufacturing products from lignocellulosic polymer composite materials. Patent Rossiiskaya Federatsiya, no. 2582498, 2016.
16. Ramaraj B., Poomalai P. Development of Potentially Biodegradable Polyamide-6 and Polyvinyl Alcohol Blends: Physico-Mechanical Properties, Thermal Properties, and Soil Test. *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, vol. 98, pp. 2339–2346.
17. Eds. Arakelova V. A., Komarov V. I., Lepeshin I. P. *Vtorichnye materialnye resursy pichvoy promushlennosti*. Moscow, Economy Publ., 1984. 327 p. (in Russian).
18. Rogovina S. Z., Aleksanian K. V., Prut E. V. Vliyaniye olygomerov polietylenglikolya na mehanicheskie svoystva I biorazlagaemost kompozitsiyna osnove polylaktyda i polysaharidov. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Proceedings of the Volgograd State Technical University*, 2015, no. 7 (164), pp. 68–71 (in Russian).