
ENVIRONMENTAL SCIENCE

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.3.23.03>

Artemov A.V.^{1*}, Ershova A.S.², Yakimova A.B.³

^{1, 2, 3} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (artemovav[at]mail.ru)

Received: 17.05.2022; Accepted: 28.06.2022; Published: 20.07.2022

PLASTICS WITHOUT BINDERS BASED ON BANANA LEAF PHYTOMASS: PROPERTIES AND BIODEGRADABILITY

Research article

Abstract

To obtain plastics without the addition of binders (PWB), various types of plant waste with lignin and cellulose in their structure can be used. To obtain PWB, the use of plant residues (phytomasses) is of interest in the form of Japanese banana leaves (*Musa basjoo*). This plant is very common and is cultivated on the Black Sea coast of Russia and is significant for its big leaves. With the cultural content of these plants on the territory of settlements, the resulting plant residues are not used properly. The use of this raw material will make it possible to obtain plant-based materials with the potential for biodegradation.

Keywords: plastics, banana leaves, properties, biodegradation.

Артёмов А.В.^{1*}, Ершова А.С.², Якимова А.Б.³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (artemovav[at]mail.ru)

Получена: 17.05.2022; Доработана: 28.06.2022; Опубликовано: 20.07.2022

ПЛАСТИКИ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ФИТОМАССЫ БАНАНОВЫХ ЛИСТЬЕВ: СВОЙСТВА И БИОРАЗЛАГАЕМОСТЬ

Научная статья

Аннотация

Для получения пластиков без добавления связующих (ПБС) могут быть использованы различные виды растительных отходов, содержащие в своей структуре лигнин и целлюлозу. Для получения ПБС интерес представляет использование растительных остатков (фитомассы) в виде листьев японского банана (*Musa basjoo*). Данное растение очень распространено и культивируется на побережье Черного моря России и выделяется своими большими листьями. При культурном содержании данных растений на территории населенных пунктов, образующиеся растительные остатки не находят должного применения. Использование данного сырья позволит получать материалы на основе растительного происхождения, обладающих потенциалом к биоразложению.

Ключевые слова: пластики, листья банана, свойства, биодegradация.

1. Введение

В настоящее время инициирован поиск доступного сырья природного происхождения с целью минимизации отходов и получения различных современных материалов на их основе. Использование отходов в виде растительных остатков, имеет различные перспективные направления, такие как применение в медицинской, фармацевтической, целлюлозно-бумажной и упаковочной промышленности, в том числе и получение композиционных материалов различного назначения, обладающих потенциалом к биодеструкции [1], [2]. Так, например, в статье [3] рассматриваются вопросы производства материалов на основе эко-текстиля. Изучаются волокна на основе природных материалов, такие как листья ананасового дерева, крапивы, кожуры бананов, стручков кофе. Показаны преимущества эко-хлопка по сравнению с обычным волокном. Кроме получения изделий на основе природного волокна, возможно получение эко-бумаги из натурального природного сырья - банановых хвостиков [4]. Полученная бумага отличается своей структурой и может быть использована для оформления подарочных альбомов, блокнотов, в качестве сувенирной продукции. Для получения композиционных материалов рассматриваются различные лигноцеллюлозные наполнители, такие как остатки соломы ячменя, шелуха зерен пшеницы и овса, остатки луговых трав и проч. [5], [6].

В работе [7] выделяют наполнитель в виде банановой кожуры для композиционного материала на основе полиэтилена, так как возможно получение композиции при температуре ниже, чем с применением иных лигноцеллюлозных наполнителей. Это обосновывается формой самих частиц наполнителя: костра и сено схожи по форме частиц и имеют длинные волокнистые фрагменты, у березовых листьев и кожуры банана частицы шарообразные, а у лигносульфоната – мелкодисперсные [8]. Использование измельченного сена луговых трав с целью получения композита с поливинилхлоридной матрицей методом горячего прессования позволило получить материал аналогичного древесно-полимерному композиту основе древесной муки [9].

Проведены исследования по вопросам утилизации остатков растений и виде сорняковых насаждений с получением, например, целлюлозы, пластика и иных строительных материалов [10], [11]. Одним из перспективных направлений является использование листового опада различных растений. Так, например, были изучены [12] композиционные материалы на основе опавших листьев миндального дерева (*Terminalia catappa L.*) и вторичного полипропилена. Было установлено, что паровая обработка волокон листьев увеличивает термическую стабильность композита.

Работа [13] посвящена оценке листьев посидонии (*Posidonia Oceanica*) как эффективного усиливающего агента для экологически чистых, полностью биоразлагаемых полимерных композитов. Предлагается использование листьев посидонии с добавлением их в жесткую и в пластичную биоразлагаемую полимерную матрицу, полимолочную кислоту и добавки «MaterBi®» при различных содержаниях наполнителя. Предлагается [14] использование волокон, извлеченных из листьев мучной пальмы (*Phoenix pusilla*), в качестве армирующего элемента в композитах на основе гидрофобной полимерной матрицы. Был разработан [15] композит из поливинилхлорида, армированного частицами пальмового дерева, обеспечивающих общий легкий вес и хорошие механические свойства для потенциального применения в качестве материала для трубопроводов. Образец композитного материала был изготовлен с использованием компрессионного формования макрочастиц листьев дум-пальмы (*Hypphaene*). Сравнение с традиционными материалами трубопровода показало, что данный композит дешевле по сравнению с углеродистой сталью и материалом на основе ПВХ.

Рассмотрено [16] производство материалов для строительных конструкций путем вторичной переработки смешанных пластиковых отходов и отходов листьев финиковой пальмы (*Phoenix*). Были проанализированы несколько предварительно обработанных смесей древесно-пластиковых композитов с использованием пальмовых листьев и пластиковых отходов (поликарбонат, полистирол и поливинилхлорид). Разработанные древесно-пластиковые композиты обладают меньшим водопоглощением и твердостью и более высокой плотностью по сравнению с натуральным деревом и МДФ, и могут использоваться в конструкциях наружного применения.

Отходы сухих листьев сахарного тростника (*Saccharum*) использовали в качестве армирования эпоксидной матрицы для приготовления полимерных композитов [17]. Было установлено, что данные древесно-пластиковые композиты обладали меньшей устойчивостью к естественному атмосферному воздействию. Для получения пластика без связующих (ПБС) чаще всего используются отходы древесины хвойных и лиственных пород, а также растительные остатки аграрных отходов (шелуха, солома, стебли и проч.) [18], [19]. Получение ПБС из растительных остатков обусловлено содержанием природного связующего в сырье (лигнина). Выполненными исследованиями [20] было показано, что для растительных остатков при содержании в них лигнина в пределах 18 до 38 %, позволяет получать ПБС с приемлемыми физико-механическими свойствами.

Интерес представляет использование растительные остатки (фитомассы) в виде листьев японского банана (*Musa basjoo*). Данное растение очень распространено и культивируется на побережье Черного моря России и выделяется своими большими листьями. При культурном содержании данных растений на территории населенных пунктов, образующиеся растительные остатки не находят должного применения: их либо удаляют из мест образования на объекты размещения отходов, либо остаются на местах образования, подвергаясь сжиганию.

Получение ПБС на основе банановых листьев позволит решать сразу несколько экологических проблем:

- утилизация отходов в виде невостребованных растительных остатков за счет вовлечения в хозяйствующий оборот в качестве дополнительного источника сырья с получением изделий на основе пластика растительного происхождения;

- получение материалов на основе природного происхождения, обладающих биоразлагаемым потенциалом при минимальном воздействии на окружающую среду при их деструкции в природных условиях.

2. Материалы и методы исследования

В качестве исходного сырья использовались растительные остатки (фитомасса) листьев банана (*Musa basjoo*) с фракцией менее 1,2 мм. Содержание лигнина и целлюлозы в исходном пресс-сырье влажностью 8,3 % составило 37,9 и 22,1 % соответственно. С целью установления физико-механических свойств образцов на исследуемом пресс-сырье, была получена серия образцов ПБС. Для установления закономерности влияния внешних факторов, была принята область изменения влажности исходного пресс-сырья. Принималась следующая влажность пресс-сырья: 8, 12, 16 %.

Были изготовлены образцы-диски диаметром 90 мм и толщиной 2 мм методом горячего компрессионного прессования при следующих условиях: давление прессования – 40 МПа, температура прессования – 175°C, продолжительность прессования – 10 мин, продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин. После кондиционирования в комнатных условиях (24 часа) образцы подвергались испытанию на физико-механические свойства. Биоразлагаемость материалов оценивалось по изменению массы и линейных размеров (толщины) образцов при экспозиции их в почвогрунте. В качестве почвогрунта был принят грунт для рассады.

Для депонирования образцов в почве, подготавливались образцы в виде квадратов 20 x 20 мм. Исследуемые образцы помещались в грунт на глубину от 5 см в горизонтальном положении. С целью оценки активности грунта, после внесения образцов в грунт, производилось его засеивание семенами трав.

Время выдержки образцов в грунте при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) и влажности грунта $40 \pm 5\%$ составило 60 суток. После выдержки образцов 30, 60 суток образцы изымались из грунта. Извлеченные образцы высушивались при комнатной температуре в течение суток и подвергались физико-механическим испытаниям, а также осуществлялось микрофотографирование лицевой поверхности и бокового среза образцов.

3. Результаты

Результаты испытаний на физико-механические свойства образцов ПБС на основе фитомассы бананового листа представлены в табл.1.

Таблица 1 – Физико-механические показатели образцов

Физико-механические свойства	Влажность пресс-сырья, %		
	8	12	16
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	959	915	968
Твёрдость по Бринеллю, МПа	10,4	11,5	7,9
Прочность при изгибе, МПа	1,9	2,8	4,0
Водопоглощение за 24 часа, %	88,0	122,0	143,5
Разбухание по толщине за 24 часа, %	414,4	85,9	103,7
Ударная вязкость, $\text{кДж}/\text{м}^2$	2,323	3,292	2,173

Результаты изменения массы и линейных размеров ПБС на основе фитомассы бананового листа при их экспозиции в почвогрунте представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Изменения массы и толщины образцов (влажность пресс-сырья 16 %)

№	Показатель	Продолжительность экспозиции, сут	
		30	60
1	Изменения массы, %	+4,8	-58,6
2	Изменение толщины, %	+54,3	+82,4

Результаты микрофотографирования лицевой поверхности образцов и в срезе образцов ПБС на основе фитомассы бананового листа представлено на рис.1.

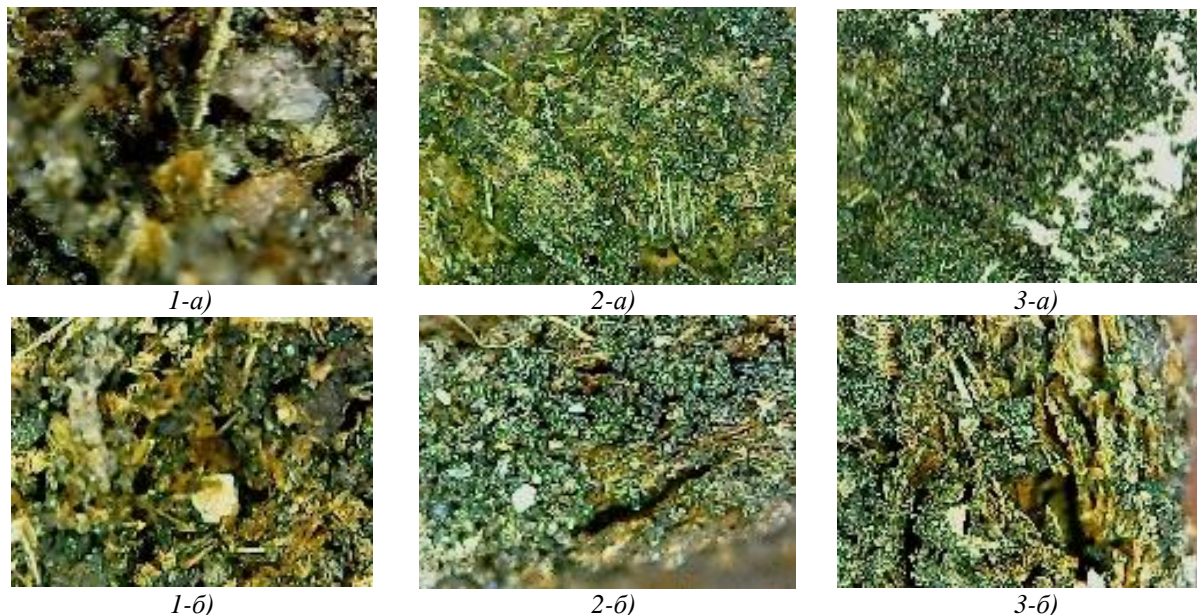


Рис. 1 – Микрофото образцов после экспозиции в грунте за 60 суток:

a – лицевая поверхность, *б* – боковой срез;

1) влажность сырья 8 %, 2) влажность сырья 12 %, 3) влажность сырья 16 %

4. Выводы

1. На основании табл.1 установлено влияние влажности исходного пресс-сырья на физико-механические свойства ПБС: с увеличением влажности пресс-сырья наблюдается увеличение прочности при изгибе и показателей водостойкости материала. Исходя из анализа полученных данных и требований к низкой водостойкости, оптимальным значением влажности исходного пресс-сырья в изучаемом интервале составляет 16 %.

Невысокие показатели свойств, полученных образцов, можно объяснить особым фракционным составом пресс-сырья: при фракции частиц с размером 1,2 мм наблюдались отдельные тонкие длинные частицы в виде иголок

(см.рис.2). Крупные игольчатые частицы – не размельчённые жилки листа – при пьезотермической обработке, недостаточно контактировали между собой, тем самым не обеспечивалось более глубокого образования материала.



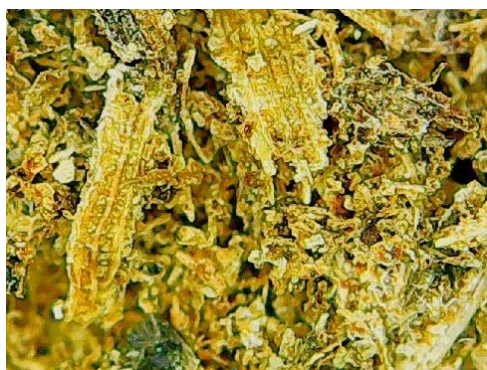
Рис. 2 – Микрофото полученных образцов (лицевая поверхность)

2. На основании табл. 2 установлено, что при выдержке в грунте в течение 30 суток образцов ПБС наблюдается увеличение массы на 4,8 % и толщины на 54,3 %. Это обуславливается первичным водонасыщением материала влагой из грунта.

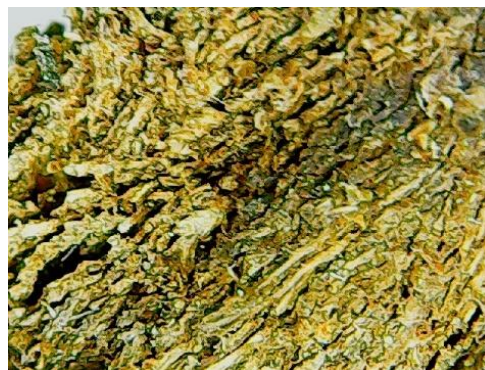
После выдержки образцов в течение 60 суток наблюдается снижение массы образцов ПБС (на 58,6 %). По величине потери массы (более 50% от исходной) можно сделать вывод о том, что исследуемые образцы при выдержке за 60 суток в почвогрунте были подвергнуты полной деструкции.

3. На основании рис.1. отмечается, что при экспозиции в течение 60 суток в почвогрунте привела к внешним изменениям образцов ПБС. По визуальному наблюдению большинство образцов были подвержены сильным изменениям, а именно наблюдались частичное или полное разрушение образцов (расслоение и набухание), наличие сколов и пятен.

Результаты микрофотографирования образцов после испытания на показатели водостойкости (см.рис.3) показали, что поверхность образцов ПБС схожа образцами после выдержке в грунте (см.рис.1). При выдержке образцов в течение 60 суток наблюдается увеличение толщины образцов на 82,4% (см.табл.2). Это показывает, что деструкция в естественных условиях исследуемых образцов в первую очередь протекает за счет водонасыщением материала из грунта и как следствие внутренним разрушением связей.



а)



б)

Рис. 3 – Результаты микрофотографирования образцов на основе листьев банана после водопоглощения за 24 часа: а – лицевая поверхность ПБС, б – боковой срез

Funding

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education within the scientific project "FEUG-2020-0013".

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Галяветдинов Н.Р. Исследование физико-механических свойств древесно-наполненных композитов на основе полилактида с целью создания биоразлагаемых упаковок / Н.Р. Галяветдинов, Р.Р. Сафин, Г.А. Талипова и др. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2018. – № 4. – С. 12–18.

2. Bulgakov A.G. Characteristics of aging of wood-fiberboard from the position of ir spectroscopy / A.G. Bulgakov, S. Mamontov, A. Mamontov et al. // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – Vol. 18. – No 4. – pp. 624-630. – DOI: 10.5937/jaes0-29431.
3. Кричевский Г.Е. Зелёный текстиль / Г.Е. Кричевский // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2019. – № 1–1. – С. 157-166.
4. Балашова А.Р. Переработка отходов пищевой промышленности - новые возможности для малого бизнеса / А.Р. Балашова // Конкурентоспособность территорий: материалы XXIII Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 27–30 апреля 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2020. – С. 51–52.
5. Кузьмин А.М. Получение и исследование термопластичных композитов с растительным наполнителем / А.М. Кузьмин, В.Н. Водяков, Е.А. Радайкина и др. // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 7. – С. 40–43.
6. Выдрина Т.С. Свойства древесно-полимерных композитов на основе аграрных отходов и активатора разложения / Т.С. Выдрина, А.В. Артемов, А.Е. Шкуро и др. // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 10. – С. 25–29.
7. Пантюхов П.В. Композиционные материалы на основе полиэтилена и лигноцеллюлозных наполнителей. Структура и свойства / П.В. Пантюхов, Т.В. Монахова, А.А. Попов и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 177–182.
8. Пантюхов П.В. Композиционные материалы на основе полиэтилена и лигноцеллюлозных наполнителей структура и свойства / П.В. Пантюхов, Т.В. Монахова, А.А. Попов // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19. – № 2. – С. 111–117.
9. Захаров П.С. Исследование свойств композитов с поливинилхлоридной матрицей и наполнителем из сена луговых трав / П.С. Захаров, А.Е. Шкуро, В.В. Глухих и др. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2021. – № 11. – С. 2–7. – DOI: 10.31044/1994–6260–2021–0–11–2–7.
10. Вураско А.В. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислительно-органосольвентным способом / А.В. Вураско, М.А. Агеев, В.П. Сиваков // Химия растительного сырья. – 2022. – № 1. – С. 289–298. – DOI: 10.14258/jcrpm.20220110121.
11. Степина И.В. Повышение биостойкости стеблей борщевика Сосновского в качестве сырья для производства строительных материалов / И.В. Степина, М. Содомон, В.С. Семенов и др. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 2(746). – С. 79–91. – DOI: 10.32683/0536-1052-2021-746-2-79-91.
12. Cinthya Souza Rosa H.S. Steam-exploded fibers of almond tree leaves as reinforcement of novel recycled polypropylene composites. / H.S. Cinthya Souza Rosa, M. Goncalves Mothéa, M. F. Vieira Marquesb et al. // Journal of Materials Research and Technology. – 2020 – 9. – pp.11791-11800. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.08.069.
13. Scaffaro R. Physical properties of green composites based on poly-lactic acid or Mater-Bi® filled with Posidonia Oceanica leaves / R. Scaffaro, A. Maio, F. Lopresti // Materials Science.Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2020 – DOI:10.1016/J.COMPOSITESA.2018.06.024.
14. Madhu P. of cellulose fibre from Phoenix pusilla leaves as potential reinforcement for polymeric composites / P. Madhu, M. Sanjay, S. Pradeep et al. // Journal of Materials Research and Technology. – Volume 8 – Issue 3 – pp 2597–2604
15. Dan-asabe B. Micro-structural and mechanical characterization of doum-palm leaves particulate reinforced PVC composite as piping materials / B. Dan-asabe, S.A.Yaro, D.S.Yawas et al. // Alexandria Engineering Journal. – Volume 57 – Issue 4 – pp. 2929-2937
16. Binhusain M. Palm leave and plastic waste wood composite for out-door structures / M.A.Binhusain, M.El-Tonsy Maher // Construction and Building Materials – Volume 47 – pp. 1431–1435. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.031
17. Yadav S.K.J. Experimental and Numerical Study on Mechanical behavior and Resistance to Natural Weathering of Sugarcane Leave Reinforced Polymer Composite. / S.K.J. Yadav, A. Vedrtam, D. Gunwant. // Experimental Construction and Building Materials. – 262 – 120785. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120785.
18. Prosvirnikov D. Strength properties of composite board materials based on lignocellulose fiber, modified by steam explosion treatment / D. Prosvirnikov, N. Timerbaev, Z. Sattarova // Solid State Phenomena. – 2020. – Vol. 299. – pp. 986-992. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.986.
19. Ermolin V.N. Estimating the Effectiveness of Hydrodynamic Treatment of Wood for Producing Wood Boards without Adhesives / V.N. Ermolin, M.A. Bayandin, S.N. Kazitsin et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, November 8, 2018. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012001. – DOI: 10.1088/1757-899X/467/1/012001
20. Артемов А.В. Исследование закономерности в убыли массы образцов при получении пластика без связующих на основе сосновых опилок в закрытых пресс-формах / А.В. Артемов, В.Г. Бурындин, А.В. Савиновских // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 8. – С. 9–13.

References in English

1. Galyavetdinov N.R. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevsesno-napolnennykh kompozitov na osnove polilaktida s cel'yu sozdaniya biorazlagaemykh upakovok [Investigation of physical and mechanical properties of wood-filled composites based on polylactide in order to create biodegradable packages] / N.R. Galyavetdinov, R.R. Safin, G.A. Talipova et al.// Derevoobrabatvyayushchaya promyshlennost' [Woodworking industry]. – 2018. – № 4. – pp. 12-18 [in Russian]
2. Bulgakov A.G. Characteristics of aging of wood-fiberboard from the position of ir spectroscopy / A.G. Bulgakov, S. Mamontov, A. Mamontov et al. // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – Vol. 18. – No 4. – pp. 624-630. DOI: 10.5937/jaes0-29431.

3. Krichevskij G.E. Zelyonyj tekstil' [Green textiles] / G.E. Krichevskij // *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svojstva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEx)* [Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEx)]. – 2019. – № 1–1. – pp. 157-166 [in Russian]
4. Balashova A.R. Pererabotka othodov pishchevoj promyshlennosti – novye vozmozhnosti dlya malogo biznesa [Recycling of food industry waste – new opportunities for small businesses] / A.R. Balashova // *Konkurentosposobnost' territorij: materialy XXIII Vserossijskogo ekonomicheskogo foruma molodyh uchenyh i studentov, Ekaterinburg, 27–30 aprelya 2020 goda* [Competitiveness of territories: Materials of the XXIII All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students, Yekaterinburg, April 27-30, 2020]. – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2020. – pp. 51-52 [in Russian]
5. Kuz'min A.M. Poluchenie i issledovanie termoplastichnyh kompozitov s rastitel'nyim napolnitelem [Preparation and research of thermoplastic composites with vegetable filler] / A.M. Kuz'min, V.N. Vodyakov, E.A. Radajkina et al. // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. – 2020. – V. 23. – № 7. – pp. 40–43 [in Russian]
6. Vydrina T.S. Svojstva drevesno-polimernyh kompozitov na osnove agrarnyh othodov i aktivatora razlozheniya [Properties of wood-polymer composites based on agricultural waste and decomposition activator] / T.S. Vydrina, A.V. Artyomov, A.E. Shkuro et al. // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. – 2020. – V. 23. – № 10. – pp. 25–29 [in Russian]
7. Pantyuhov P.V. Kompozicionnye materialy na osnove polietilena i lignocellyuloznyh napolnitelej. Struktura i svojstva [Composite materials based on polyethylene and lignocellulose fillers. Structure and properties] / P.V. Pantyuhov, T.V. Monahova, A.A. Popov et al. // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. – 2012. – V. 15. – № 13. – pp. 177–182 [in Russian]
8. Pantyuhov P.V. Kompozicionnye materialy na osnove polietilena i lignocellyuloznyh napolnitelej struktura i svojstva [Composite materials based on polyethylene and lignocellulose fillers structure and properties] / P.V. Pantyuhov, T.V. Monahova, A.A. Popov // *Bashkirskij himicheskij zhurnal* [Bashkir Chemical Journal]. – 2012. – V. 19. – № 2. – pp. 111–117 [in Russian]
9. Zaharov P.S. Issledovanie svojstv kompozitov s polivinilhloridnoj matricej i napolnitelem iz sena lugovyh trav [Investigation of the properties of composites with polyvinyl chloride matrix and meadow grass hay filler] / P.S. Zaharov, A.E. Shkuro, V.V. Gluhih et al // *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik* [All materials. Encyclopedic reference]. – 2021. – № 11. – pp. 2–7. DOI: 10.31044/1994–6260–2021–0–11–2–7 [in Russian]
10. Vurasko A.V. Poluchenie i svojstva tekhnicheskoy cellyulozy iz borschhevika okislitel'no-organosol'ventnym sposobom [Obtaining and properties of technical cellulose from hogweed by oxidative-organosolvent method] / A.V. Vurasko, M.A. Ageev, V.P. Sivakov // *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials]. – 2022. – № 1. – pp. 289-298. – DOI: 10.14258/jcprm.20220110121 [in Russian]
11. Stepina I.V. Povyshenie biostojkosti stebel' borschhevika Sosnovskogo v kachestve syr'ya dlya proizvodstva stroitel'nyh materialov [Increasing the biostability of the stems of Sosnovsky hogweed as a raw material for the production of building materials] / I.V. Stepina, M. Sodomon, V.S. Semenov et al. // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction]. – 2021. – № 2(746). – pp. 79–91. DOI: 10.32683/0536–1052–2021–746–2–79–91 [in Russian]
12. Cinthya Souza Rosa H.S. Steam-exploded fibers of almond tree leaves as reinforcement of novel recycled polypropylene composites. / H.S. Cinthya Souza Rosa, M. Goncalves Mothéa, M. F. Vieira Marquesb et al. // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2020 – 9. – pp.11791-11800. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.08.069.
13. Scaffaro R. Physical properties of green composites based on poly-lactic acid or Mater-Bi® filled with Posidonia Oceanica leaves / R. Scaffaro, A. Maio, F. Lopresti // *Materials Science.Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2020 – DOI:10.1016/J.COMPOSITESA.2018.06.024.
14. Madhu P. of cellulosic fibre from Phoenix pusilla leaves as potential reinforcement for polymeric composites / P. Madhu, M. Sanjay, S. Pradeep et al. // *Journal of Materials Research and Technology*. – Volume 8 – Issue 3 – pp 2597–2604
15. Dan-asabe B. Micro-structural and mechanical characterization of doum-palm leaves particulate reinforced PVC composite as piping materials / B. Dan-asabe, S.A.Yaro, D.S.Yawas et al. // *Alexandria Engineering Journal*. – Volume 57 – Issue 4 – pp. 2929-2937
16. Binhussain M. Palm leave and plastic waste wood composite for out-door structures / M.A.Binhussain, M.El-Tonsy Maher // *Construction and Building Materials* – Volume 47 – pp. 1431–1435. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.031
17. Yadav S.K.J. Experimental and Numerical Study on Mechanical behavior and Resistance to Natural Weathering of Sugarcane Leave Reinforced Polymer Composite. / S.K.J. Yadav, A. Vedrtam, D. Gunwant. // *Experimental Construction and Building Materials*. – 262 – 120785. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120785.
18. Prosvirnikov D. Strength properties of composite board materials based on lignocellulose fiber, modified by steam explosion treatment / D. Prosvirnikov, N. Timerbaev, Z. Sattarova // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Vol. 299. – pp. 986-992. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.986.
19. Ermolin V.N. Estimating the Effectiveness of Hydrodynamic Treatment of Wood for Producing Wood Boards without Adhesives / V.N. Ermolin, M.A. Bayandin, S.N. Kazitsin et al. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, November 8, 2018*. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012001. – DOI: 10.1088/1757-899X/467/1/012001
20. Artemov A.V. Issledovanie zakonomernosti v ubyli massy obrazcov pri poluchenii plastika bez svyazuyushchih na osnove sosnovykh opilok v zakrytykh press-formah [Investigation of the regularity in the decrease in the mass of samples in the production of plastic without binders based on pine sawdust in closed molds] / A.V. Artemov, V.G. Buryndin, A.V. Savinovskih // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. – 2021. – V. 24. – № 8. – pp. 9–13 [in Russian]