

Научная статья

УДК 22.018.245

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-447-454>



Влияние золы рисовой и гречневой шелухи на биоразлагаемость эпоксидных материалов

Елена Михайловна Готлиб, Елена Вячеславовна Перушкина,
Рют Шельтон Нцуму, Екатерина Сергеевна Ямалеева

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Ямалеева Екатерина Сергеевна, curls888@yandex.ru

Аннотация. Ввиду микробиологической стойкости эпоксидных полимеров, проблема утилизации их после завершения срока эксплуатации является особенно актуальной. В этом аспекте особый интерес представляют производные рисовой и гречневой шелухи как потенциально биodeградируемые компоненты, которые при применении их в качестве наполнителей обеспечивают улучшение эксплуатационных характеристик эпоксидных материалов. Полученные результаты свидетельствуют об использовании рисовой и гречневой шелухи и их золы в качестве субстрата микроорганизмами почвы. Вместе с тем рисовая шелуха в значительно большей степени, чем гречневая шелуха, увеличивает биологическую активность микробиоты почвы. При этом с ростом температуры получения золы рисовой шелухи использование ее в качестве субстрата микроорганизмами почвы закономерно снижается по сравнению с рисовой шелухой. Это обусловлено уменьшением содержания в ее составе рентгеноаморфной фазы и ростом количества кристаллических минералов. В то же время зола гречневой шелухи, не зависимо от температуры ее получения, существенно активизирует процессы почвенного дыхания по сравнению с гречневой шелухой, что указывает на возможность микробиологической утилизации образцов золы гречневой шелухи в процессе инкубирования в почве. Эпоксидные материалы, как ненаполненные, так и наполненные золой рисовой и гречневой шелухи, не используются в качестве субстрата микроорганизмами почвы. В то же время наполнение эпоксидных композиций рисовой шелухой обуславливает улучшение их биodeградируемости. Степень биodeструкции шелухи риса и гречихи и их золы определяет влияние этих наполнителей на дыхательную активность почвы в присутствии эпоксидных материалов.

Ключевые слова: эпоксидный полимер, рисовая и гречневая шелуха, зола, микробиоценоз почвы, биodeградация, пористость

Благодарности. В работе использовано оборудование комплексной лаборатории «Наноаналитика» Казанского национального исследовательского технологического университета (г. Казань).

Для цитирования: Готлиб Е. М., Перушкина Е. В., Нцуму Р. Ш., Ямалеева Е. С. Влияние золы рисовой и гречневой шелухи на биоразлагаемость эпоксидных материалов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 3. С. 447–454. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-447-454>.

Effects of rice and buckwheat husk ash on the biodegradability of epoxy materials

Elena M. Gotlib, Elena V. Perushkina, Rutthe Sch. Ntsoumou, Ekaterina S. Yamaleeva

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
Corresponding author: Ekaterina S. Yamaleeva, curls888@yandex.ru

Abstract. Due to the microbiological resistance of epoxy resins, their disposal after the completion of their lifecycle is a pressing issue. In this respect, the use of biodegradable rice and buckwheat husk derivatives as fillers may improve the service properties of epoxy materials. The results indicate that rice and buckwheat husks, as well as their ashes, can be used by soil microorganisms as a substrate. Compared to buckwheat husks, rice husks increase the biological activity of soil microbiota to a much greater extent. However, compared to rice husks, an increase in the temperature of obtaining rice husk ash leads to a decrease in its use by soil microorganisms as a substrate. This is associated with a decreased content of the X-ray amorphous phase and an increased amount of crystalline minerals in the composition of rice husk ash. At the same time, regardless of the temperature of its production, buckwheat husk ash outperforms buckwheat husks in terms of activated soil respiration, which indicates the possibility of microbiological disposal of buckwheat husk ash during its incubation in a soil. Epoxy materials, both unfilled and filled with rice and buckwheat husk ash, are not used by soil microorganisms as a substrate. At the same time, the filling of epoxy materials with rice husks leads to an improvement in their biodegradability. The biodegradation degree of rice and buckwheat husks, as well as their ashes, determines the effect of these fillers on soil respiration in the presence of epoxy materials.

Keywords: epoxy resin, rice and buckwheat husks, ash, soil microbiocenosis, biodegradation, porosity

Acknowledgements. The equipment of the complex laboratory "Nanoanalytics" of the Kazan National Research Technological University (Kazan) was used in the work.

For citation: Gotlib E. M., Perushkina E. V., Ntsoumou R. Sch., Yamaleeva E. S. Effects of rice and buckwheat husk ash on the biodegradability of epoxy materials. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(3):447-454. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-447-454>.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный и ускоряющийся с каждым годом рост образования полимерных отходов – серьезная экологическая проблема. Одним из эффективных путей ее решения является разработка полимерных материалов, которые сохраняют эксплуатационные характеристики в течение периода потребления, а затем под действием факторов окружающей среды подвергаются ускоренной биodeградации [1–3].

В этом аспекте перспективно применение в полимерных композициях в качестве модифицирующих добавок растительных отходов, в частности наполнителей на основе рисовой и гречневой шелухи [4–7].

Это позволяет комплексно отвечать на возникающие вызовы путем одновременной утилизации крупнотоннажных отходов переработки зерна и уменьшения количества «полимерного мусора».

Для изделий на основе эпоксидных смол ввиду микробиологической стойкости этого типа полимеров [8, 9] проблема утилизации после завершения срока эксплуатации является особенно актуальной.

В то же время производные рисовой и гречневой шелухи представляют собой потенциаль-

но биodeградируемые компоненты [10, 11], которые при применении их в качестве наполнителей обеспечивают улучшение эксплуатационных характеристик эпоксидных материалов [12].

Это делает актуальным исследование их влияния на биоразложение эпоксидных композиций.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения наполненных композиций использовалась эпоксидная диановая смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84).

Отвердительаминоалкилфенол (АФ-2) (ТУ 2494-052-0205423-2004) применялся в качестве сшивающего агента для холодного отверждения в количестве, определенном по эквивалентному соотношению [эпокси-группы]:[амин]. Отверждение ЭД-20 АФ-2 проводилось при комнатной температуре в течение 7 суток.

В качестве наполнителей использовались рисовая (РШ) и гречневая (ГШ) шелуха и их зола (ЗРШ и ЗГШ), полученная при температурах 350 (ЗРШ₁ и ЗГШ₁), 500 (ЗРШ₂ и ЗГШ₂) и 800 °С (ЗРШ₃ и ЗГШ₃) в количестве 10 мас. ч. на 100 мас. ч. эпоксидной смолы.

Способность к биоразложению рисовой и гречневой шелухи, их золы и наполненных ими эпоксидных материалов оценивали по изменению дыхательной активности почвы в их присутствии. Для этого использовали метод Штурма (DIN EN 29439, OECD 301 B, ISO 14852), который базируется на изучении кинетики выделения CO_2 из системы, содержащей погруженный в суспензию микроорганизмов-деструкторов образец испытываемого материала.

Определение дыхательной активности почвы предусматривает инкубирование при температуре 25 °С увлажненной почвы (влажностью 60%) в присутствии исследуемого образца и регистрацию кинетических кривых выделения CO_2 почвенными микроорганизмами. В контрольном опыте исследуют почвенную суспензию, не содержащую добавок. В экспериментальных исследованиях использовали один из наиболее распространенных в республике Татарстан (РТ) типов почв – серая лесная почва, отобранная в Зеленодольском муниципальном районе РТ. Содержание фосфора в почве в перерасчете на P_2O_5 составляло в среднем 255 мг/кг почвы, содержание калия в пересчете на K_2O – 140 мг/кг почвы.

Рентгенографический количественный анализ проводился на многофункциональном дифрактометре Rigaku SmartLab (Rigaku Corporation, Япония) при следующих параметрах съемки: угловой интервал 2 θ от 3 до 65° с шагом сканирования 0,02, с экспозицией 1 с в точке. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений – $\pm 3\%$.

Определение массовой доли углерода в образцах ЗРШ проводилось с помощью элементного анализа CHNS по ГОСТ 32979-2014 (ISO 29541:2010) на анализаторе PE 2400-II (PerkinElmer Corporation, США). В основе метода лежит сжигание образца для превращения определяемых элементов в простые газы. Температура сжигания – 925 °С, температура восстановления – 640 °С, в термостате детектора – 82,2 °С. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений составляют $\pm 0,2\%$.

Определение удельной площади поверхности пор наполнителей проводилось по адсорбции газа с применением метода Брунауэра, Эммета и Теллера (BET – метод ISO 9277:2010) на приборе Quantachrome Nova 1200e (Quantachrome Instruments, США). Дегазация образцов наполнителей осуществлялась 3 ч при температуре 150 °С, при давлении в вакууме 2 Па. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений $\pm 5\%$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты оценки изменения дыхательной активности микробиоценоза почвы в присутствии рисовой и гречневой шелухи и их золы представлены в табл. 1.

Согласно полученным данным (см. табл. 1),

Таблица 1. Дыхательная активность почвы в присутствии рисовой и гречневой шелухи и их золы

Table 1. Soil respiration activity in the presence of rice and buckwheat husks and their ashes

Наименование образца	Количество выделившегося CO_2 , мг C-CO_2 , г/ч
Почва (контрольный образец)	3,77 $\pm$ 0,11
Зола рисовой шелухи ₁	7,59 $\pm$ 0,04
Зола рисовой шелухи ₂	5,41 $\pm$ 0,04
Зола рисовой шелухи ₃	4,19 $\pm$ 0,07
Рисовая шелуха	14,83 $\pm$ 0,09
Зола гречневой шелухи ₁	27,23 $\pm$ 0,10
Зола гречневой шелухи ₂	21,08 $\pm$ 0,09
Зола гречневой шелухи ₃	8,46 $\pm$ 0,02
Гречневая шелуха	5,99 $\pm$ 0,04

внесение в почву РШ обуславливает увеличение дыхательной активности почвенного микробиоценоза почти в 4 раза по сравнению с этим показателем для контрольного образца почвы.

Полученные результаты свидетельствуют об использовании РШ в качестве субстрата микроорганизмами почвы. Это связано с тем, что РШ содержит большое количество целлюлозы и лигнина [13, 14].

Внесение в почву ЗРШ, полученной при 350 °С (ЗРШ₁), также обуславливает (см. табл. 1) существенное увеличение ее дыхательной активности (практически в 2 раза).

Вероятно, это связано с составом ЗРШ₁, характеризующимся наличием большого количества рентгеноаморфной фазы и значительным содержанием углерода (табл. 2), легко подвергающимся утилизации почвенной микрофлорой.

Выявлено, что применение ЗРШ, полученной при 500 и 800 °С (ЗРШ₂ и ЗРШ₃), увеличивает дыхательную активность почвы примерно на 45 и 10% соответственно (см. табл. 1).

Таким образом, с ростом температуры получения ЗРШ использование ее в качестве субстрата микроорганизмами почвы закономерно снижается. Это обусловлено уменьшением содержания в ее составе органической фазы и ростом количества кристаллических минералов, например, кристобалита (см. табл. 2).

Определенный вклад в биodeградацию РШ и ее золы вносит пористость этих наполнителей, которая закономерно уменьшается с ростом температуры сжигания РШ (табл. 3).

ЗГШ независимо от температуры ее получения существенно активизирует процессы почвен-

Таблица 2. Фазовый состав рисовой шелухи, ее золы и содержание углерода в них

Table 2. Phase composition of rice husk, its ash and carbon content in them

Тип наполнителя	Фазовый состав	Содержание, % масс.	Содержание углерода, % масс.
Рисовая шелуха	Рентгеноаморфная фаза Кристаллит Тридимит Карфолит	85±0,10 6±0,08 6±0,08 3±0,05	40,81±0,08
Зола рисовой шелухи ₁	Рентгеноаморфная фаза Кальцит Прочее	97±0,11 2±0,08 1±0,03	15,03±0,03
Зола рисовой шелухи ₂	Рентгеноаморфная фаза Кристаллит Кварц	97±0,10 2±0,08 1±0,03	3,93±0,01
Зола рисовой шелухи ₃	Рентгеноаморфная фаза Кристаллит Кварц Тридимит	75±0,10 23±0,08 1±0,03 1±0,03	0,52±0,01

ного дыхания (см. табл. 1), что указывает на возможность микробиологической утилизации образцов ЗГШ в процессе инкубирования в почве.

При этом аналогично ЗРШ с ростом температуры получения ЗГШ использование ее в качестве субстрата микроорганизмами почвы закономерно снижается (см. табл. 1). Это происходит, несмотря на увеличение пористости структуры ЗГШ (см. табл. 3), и связано, очевидно, с уменьшением содержания в ее составе органической фазы.

Особого внимания заслуживает тот факт, что РШ в значительно большей степени по сравнению с ГШ увеличивает биологическую активность микробиоты почвы. Действительно, применение ГШ только в 1,5 раза повышает интенсивность выделения CO₂. Возможно, это связано с меньшим по сравнению с РШ содержанием целлюлозы в ее составе [15, 16], являющейся более легкоусвояемым микроорганизмом, чем лигнин [17], который достаточно устойчив к химическому и микробиологическому разложению [18].

В то же время ЗГШ, полученная при всех исследуемых температурах, напротив, характеризуется большей доступностью для вызывающего ее биодеструкцию микробного сообщества

по сравнению с ЗРШ. Так, в случае золы, полученной сжиганием шелухи при 350 °С, выделение углекислого газа при внесении ее в почву более чем в 3 раза выше для ЗГШ по сравнению с ЗРШ.

Это может быть связано с относительно высоким содержанием в составе РШ и ее производных диоксида кремния [19] и с присутствием в составе ГШ и ЗГШ соединений калия [15], которые лучше усваиваются микроорганизмами почвы, что обуславливает их биохимическую деградацию [20].

Таким образом, хотя удельная поверхность пор ЗГШ во много раз меньше, чем у ЗРШ (см. табл. 3), это несущественно влияет на интенсивность выделения углекислого газа при внесении этой золы в почву (см. табл. 1).

Установлено, что отвержденный эпоксидный полимер приводит к снижению дыхательной активности почвенного микробиоценоза примерно в 2 раза (табл. 4). Наполненные ГШ и ее золой эпоксидные материалы имеют примерно одинаковую биодоступность для почвенных микроорганизмов (см. табл. 4), при этом она меньше, чем для ненаполненного полимера.

Следовательно, исследуемые эпоксидные материалы не используются в качестве суб-

Таблица 3. Характеристика пористости структуры рисовой шелухи, золы рисовой и гречневой шелухи

Table 3. Porosity of rice husk, rice and buckwheat husk ash

Наименование образца	Удельная поверхность пор по Брунауэру–Эммету–Теллеру (БЭТ), м ² /г
Зола рисовой шелухи ₁	0,719±0,036
Зола гречневой шелухи ₂	1,045±0,052
Зола гречневой шелухи ₃	3,564±0,080
Зола рисовой шелухи ₁	48,900±0,080
Зола рисовой шелухи ₂	27,900±0,080
Зола рисовой шелухи ₃	10,300±0,052
Рисовая шелуха	0,600±0,030

Таблица 4. Дыхательная активность почвы в присутствии наполненных гречневой шелухой, золой гречневой шелухи, рисовой шелухой и золой рисовой шелухи эпоксидных материалов

Table 4. Soil respiration activity in the presence of epoxy materials filled with buckwheat husk, buckwheat husk ash, rice husk and rice husk ash

Наименование образца	Количество выделившегося CO ₂ , мг C-CO ₂ , г/ч
Почва (контрольный образец)	3,77±0,02
ЭД-20	1,87±0,01
ЭД20+гречневая шелуха	1,27±0,01
ЭД20+зола гречневой шелухи ₁	1,32±0,02
ЭД20+ зола гречневой шелухи ₂	1,51±0,01
ЭД20+зола гречневой шелухи ₃	1,69±0,01
ЭД-20+рисовая шелуха	2,45±0,01
ЭД-20+зола рисовой шелухи ₁	1,85±0,03
ЭД-20+зола рисовой шелухи ₂	1,63±0,02
ЭД-20+зола рисовой шелухи ₃	1,48±0,03

страта микроорганизмами почвы.

Утилизация почвенной микрофлорой эпоксидных композиций растет примерно на 28% с увеличением температуры получения ЗГШ, используемой в качестве наполнителя (см. табл. 4). Это связано, возможно, с ростом при этом пористости золы (см. табл. 3), что может влиять на взаимодействие полимерной матрицы с наполнителем.

В то же время пористость ЗГШ недостаточна для того, чтобы обеспечить стимулирующее влияние на интенсивность роста микроорганизмов, которое наблюдается, например, при наполнении эпоксидных материалов волластонитом, имеющим значительно больший объем пор.

Дыхательная активность почвенного микробиоценоза, как следует из данных, представленных в табл. 4, растет только при наполнении эпоксидных композиций РШ.

Однако при использовании в качестве наполнителя ЗРШ₃ этот показатель ниже на 21%, чем у ненаполненного полимера.

Таким образом, наполнение ЗРШ, так же как и ЗГШ, не увеличивает биodeградацию эпоксидных материалов в почве.

С ростом температуры получения золы РШ качество наполненных ей эпоксидных композиций как питательной среды для микроорганизмов ухудшается, возможно, за счет снижения пористости ЗРШ (см. табл. 3).

Установлено, что рост степени биодеструкции шелухи описываемых зерновых культур и их золы увеличивает дыхательную активность микробиоценоза почвы в присутствии наполненных ими эпоксидных материалов (см. табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты оценки изменения дыхательной активности микробиоценоза почвы в присутствии РШ, ГШ и их золы свидетельствуют о том, что с ростом температуры получения золы обеих зерновых культур использование их в качестве субстрата микроорганизмами почвы закономерно снижается.

РШ в значительно большей степени по сравнению с ГШ увеличивает биологическую активность микробиоты почвы из-за большего содержания в ее составе целлюлозы по сравнению с трудно усваиваемыми микроорганизмами – геомоцеллюлозой и лигнином.

В то же время ЗГШ, полученная при всех исследуемых температурах, напротив, характеризуется большей доступностью для вызывающего ее биодеструкцию микробного сообщества по сравнению с ЗРШ.

Эпоксидные материалы, как ненаполненные, так и наполненные ЗРШ и ЗГШ, не используются в качестве субстрата микроорганизмами почвы.

В то же время наполнение эпоксидных композиций РШ обуславливает улучшение их биodeградируемости.

Степень биодеструкции шелухи описываемых зерновых культур и их золы определяет влияние их на дыхательную активность почвы в присутствии эпоксидных материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фомин В. А., Гузев В. В. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования // Пластические массы. 2001. N 2. С. 42–46.
2. Роговина С. З. Биоразлагаемые полимерные композиции на основе синтетических и природных полимеров различных классов // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2016. Т. 58. N 1. С. 68–80. <https://doi.org/10.7868/S2308114716010106>.
3. Готлиб Е. М., Вдовина Т. В., Ямалеева Е. С.

Повышение биоразлагаемости эпоксидных материалов за счет модификации растительными маслами и их кислородсодержащими производными // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 4. С. 700–707. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707>.

4. Kenechi N.-O., Linus C., Kayode A. Utilization of rice husk as reinforcement in plastic composites fabrication – a review // American Journal of Materials

Synthesis and Processing. 2016. Vol. 1, no. 3. P. 32–36. <https://doi.org/10.11648/j.ajmsp.20160103.12>.

5. Andrzejewski J., Barczewski M., Szostak M. Injection molding of highly filled polypropylene-based biocomposites. Buckwheat husk and wood flour filler: a comparison of agricultural and wood industry waste utilization // *Polymers*. 2019. Vol. 11, no. 11. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym11111881>.

6. Goodman B. A. Utilization of waste straw and husks from rice production: a review // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2020. Vol. 5, no. 3. P. 145–169. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.07.001>.

7. Akhter F., Siddique M., Soomro S. A., Jamali A. R., Chandio Z. A., Ahmed M. Rice husk ash as green and sustainable biomass waste for construction and renewable energy applications: a review // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01527-5>.

8. Ерофеев В. Т., Смирнов В. Ф., Лазарев А. В., Богатов А. Д., Казначеев С. В., Родин А. И. [и др.]. Биологическая и климатическая стойкость полимерных композитов // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. N 1. С. 112–119.

9. Ахметзянов Р. Р., Вагизов Т. Н., Галимов Э. Р. Разработка составов и технологии изготовления дисперсно-наполненных композиционных материалов для узлов трения // *Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева*. 2019. Т. 75. N 2. С. 61–65.

10. Nourbakhsh A., Ashori A., Tabrizi A. K. Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish // *Composites Part B: Engineering*. 2014. Vol. 56. P. 279–283. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2013.08.028>.

11. Сергиенко В. И., Земнухова Л. А., Егоров А. Г., Шкорина Е. Д., Василюк Н. С. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи // *Российский химический журнал*. 2004. N 3. С. 117–124.

12. Готлиб Е. М., Ямалеева Е. С., Нцуму Р. Ш., Валеева А. Р. Изучение влияния температуры получения золы гречневой шелухи на антифрикци-

онные свойства и износостойкость эпоксидных покрытий // *Бутлеровские сообщения*. 2021. Т. 68. N 12. С. 70–76. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-70>.

13. Rohani A. B., Rosiyah Y., Seng N. G. Production of high purity amorphous silica from rice husk // *Procedia Chemistry*. 2016. Vol. 19. P. 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.092>.

14. Вураско А. В., Дриккер Б. Н., Мозырева Е. А., Земнухова Л. А., Галимова А. Р., Гулемина Н. Н. Энергосберегающая технология получения целлюлозных материалов при переработке отходов сельскохозяйственных культур // *Химия растительного сырья*. 2006. N 4. С. 5–10.

15. Клинецвич В. Н., Флюрик Е. А. Способы использования лузги гречихи посевной (обзор) // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2020. Т. 2. N 1. С. 68–81.

16. Готлиб Е. М., Валеева А. Р., Ямалеева Е. С., Твердов И. Д., Долгова А. В. Сравнение модифицирующего действия золы рисовой и гречневой шелухи в эпоксидных антифрикционных покрытиях // *Вестник Югорского государственного университета*. 2021. Т. 63. N 4. С. 9–15. <https://doi.org/10.17816/byusu20210409-15>.

17. Perez J., Munoz-Dorado J., Rubia T., Martirnez J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview // *International Microbiology*. 2002. Vol. 5, no. 2. P. 53–63. <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0062-3>.

18. Sanchez C. Ligno-cellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi // *Biotechnology Advances*. 2009. Vol. 27, no. 2. P. 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>.

19. Rahman W. A., Isa N. M., Rahmat A. R., Adenan N., Ali R. R. Rice husk/high density polyethylene bio-composite: effect of rice husk filler size and composition on injection molding processability with respect to impact property // *Advanced Materials Research*. 2009. Vol. 83–86. P. 367–374. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.83-86.367>.

20. Клебанович Н. В., Киндеев А. Л. Геоэкологическая оценка вариативности свойств почв // *Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле*. 2018. Т. 28. N 1. С. 91–102.

REFERENCES

1. Fomin V. A., Guzeev V. V. Biodegradable polymers, state and prospects of use. *Plasticheskie massy*. 2001;(5):42–46. (In Russian).

2. Rogovina S. Z. Biodegradable polymer compositions based on synthetic and natural polymers of various classes. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya C*. 2016;58(1):68–80. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S2308114716010106>.

3. Gotlib E. M., Vdovina T. V., Yamaleeva E. S. Increasing the biodegradability of epoxy materials by means of vegetable oils and their oxygenated derivatives. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(4):700–707. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707>.

doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707.

4. Kenechi N.-O., Linus C., Kayode A. Utilization of rice husk as reinforcement in plastic composites fabrication – a review. *American Journal of Materials Synthesis and Processing*. 2016;1(3):32–36. <https://doi.org/10.11648/j.ajmsp.20160103.12>.

5. Andrzejewski J., Barczewski M., Szostak M. Injection molding of highly filled polypropylene-based biocomposites. Buckwheat husk and wood flour filler: a comparison of agricultural and wood industry waste utilization. *Polymers*. 2019;11(11):1–18. <https://doi.org/10.3390/polym11111881>.

6. Goodman B. A. Utilization of waste straw and husks from rice production: a review. *Journal of*

Bioresources and Bioproducts. 2020;5(3):145-169. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.07.001>.

7. Akhter F., Siddique M., Soomro S. A., Jamali A. R., Chandio Z. A., Ahmed M. Rice husk ash as green and sustainable biomass waste for construction and renewable energy applications: a review. *Bio-mass Conversion and Biorefinery*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01527-5>.

8. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Lazarev A. V., Bogatov A. D., Kaznacheev S. V., Rodin A. I., et al. Biological and climatic resistance of polymer composites. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo = Academia. Architecture and Construction*. 2017;(1):112-119. (In Russian).

9. Akhmetzyanov R. R., Vagizov T. N., Galimov E. R. Development of compositions and manufacturing technology of dispersed-filled composite materials for units. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A. N. Tupoleva*. 2019;75(2):61-65. (In Russian).

10. Nourbakhsh A., Ashori A., Tabrizi A. K. Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. *Composites Part B: Engineering*. 2014;56:279-283. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2013.08.028>.

11. Sergienko V. I., Zemnukhova L. A., Egorov A. G., Shkorina E. D., Vasilyuk N. S. Renewable sources of chemical raw materials: complex processing of rice and buckwheat production wastes. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*. 2004;(3):117-124. (In Russian).

12. Gotlib E. M., Yamaleeva E. S., Ntsumu R. Sh., Valeeva A. R. Study of the effect of the temperature of buckwheat husk ash production on the antifriction properties and wear resistance of epoxy coatings. *Butlerovskie soobshcheniya = Butlerov Communications*. 2021;68(12):70-76. (In Russian). <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/21-68-12-70>.

13. Rohani A. B., Rosiyah Y., Seng N. G. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry*. 2016;19:189-195. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.092>.

[org/10.1016/j.proche.2016.03.092](https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.092).

14. Vurasko A. V., Driker B. N., Mozyreva E. A., Zemnukhova L. A., Galimova A. R., Gulemina N. N. Energy-saving technology for the production of cellulose materials in the processing of agricultural waste. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2006;(4):5-10. (In Russian).

15. Klintsevich V. N., Flyurik E. A. Methods of using buckwheat husk (review). *Zhurnal Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokhologiya = Proceedings of BSTU. Issue 2, Chemical Engineering, Biotechnology, Geoecology*. 2020;2(1):68-81. (In Russian).

16. Gotlib E. M., Valeeva A. R., Yamaleeva E. S., Tverdov I. D., Dolgova A. V. Comparison of the modifying effect of rice and buckwheat husk ash in epoxy antifriction coatings. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta = Yugra State University Bulletin*. 2021;63(4):9-15. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/byusu20210409-15>.

17. Perez J., Munoz-Dorado J., Rubia T., Martirnez J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *International Microbiology*. 2002;5(2):53-63. <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0062-3>.

18. Sanchez C. Ligno-cellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*. 2009;27(2):185-194. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>.

19. Rahman W. A., Isa N. M., Rahmat A. R., Adenan N., Ali R. R. Rice husk/high density polyethylene bio-composite: effect of rice husk filler size and composition on injection molding processability with respect to impact property. *Advanced Materials Research*. 2009;83-86:367-374. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.83-86.367>.

20. Klebanovich N. V., Kindeev A. L. Geostatic assessment of variability of soil properties. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2018;28(1):91-102. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. М. Готлиб,
 д.т.н., профессор,
 Казанский национальный исследовательский
 технологический университет,
 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
 Российская Федерация,
egotlib@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

Е. В. Перушкина,
 к.т.н., доцент,
 Казанский национальный исследовательский
 технологический университет,
 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
 Российская Федерация,
perushkina_elena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1403-364X>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena M. Gotlib,
 Dr. Sci. (Engineering), Professor,
 Kazan National Research Technological University,
 68, Karl Marks St., 420015, Kazan,
 Russian Federation,
egotlib@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

Elena V. Perushkina,
 Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
 Kazan National Research Technological University,
 68, Karl Marks St., 420015, Kazan,
 Russian Federation,
perushkina_elena@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1403-364X>

Р. Ш. Нцуму,
аспирант,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
Российская Федерация,
david_schelton@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0056-5592>

Е. С. Ямалеева,
к.т.н., доцент,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
Российская Федерация,
curls888@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

*Поступила в редакцию 14.07.2022.
Одобрена после рецензирования 07.09.2022.
Принята к публикации 15.09.2022.*

Rutthe Sch. Ntsoumou,
Postgraduate Student,
Kazan National Research Technological University,
68, Karl Marks St., 420015, Kazan,
Russian Federation,
david_schelton@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0056-5592>

Ekaterina S. Yamaleeva,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor
Kazan National Research Technological University,
68, Karl Marks St., 420015, Kazan,
Russian Federation,
curls888@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

Information about the article

*The article was submitted 14.07.2022.
Approved after reviewing 07.09.2022.
Accepted for publication 15.09.2022.*