

УДК 330.47

Микроструктурный и порометрический анализ компоста, полученного из пищевых отходов

О. Н. БОНДАРЧУК^{1*}, д-р техн. наук Е. В. УЛЬРИХ²

¹Кузбасский государственный аграрный университет им. В. Н. Полецкого

²Калининградский государственный технический университет

*E-mail: b120983@list.ru

Статья посвящена исследованию микроструктуры и порометрическому анализу компоста, полученного из пищевых отходов методом ферментирования. Опыты проводили со следующими ферментными препаратами: Байкал — ЭМ-1; Экобактер-Терра; Амилаза. Для микроструктурного анализа использовали аналитический сканирующий электронный микроскоп. Порометрический анализ проводили с использованием автоматического анализатора удельной поверхности и пористости. Среди всех исследованных образцов, компост, полученный с применением ферментного препарата Байкал-ЭМ-1, демонстрировал наиболее равномерную микроструктуру. Наиболее хаотичная структура наблюдалась у образца, полученного с помощью ферментного препарата Экобактер-Терра. С помощью электронного микроскопа был также исследован химический состав компостов. Установлено, что при использовании ферментного препарата Байкал-ЭМ-1 содержание ценных микроэлементов в компосте в целом было выше, чем в других образцах. Обнаружено, что наибольшая удельная площадь поверхности из всех исследованных образцов наблюдалась у образца, полученного с помощью препарата Амилаза, что является признаком большого количества микропор в структуре тела. Наименьшая удельная площадь поверхности была у образца, полученного с помощью Экобактер-Терра — $1,281 \text{ м}^2/\text{г}$. Общий объем пор для образцов, полученных препаратами Байкал-ЭМ-1 и Амилаза составил $0,011 \text{ см}^3/\text{г}$. У образца с Экобактер-Терра этот показатель составил $0,005 \text{ см}^3/\text{г}$. Установлено, что для всех образцов наибольшее количество пор было в диапазоне диаметра 3–4 нм. Средний диаметр пор у образцов с Байкал-ЭМ-1 и Амилаза был приблизительно одинаковый и составил 21–22 нм. У образца с Экобактер-Терра этот показатель ниже и составил порядка 16 нм. Для всех образцов средний диаметр пор адсорбции в несколько раз выше, чем средний диаметр пор десорбции. Наибольший средний диаметр по адсорбции был у образца, полученного с помощью Амилаза (47,5 нм), а наибольший средний диаметр по десорбции у образца с Байкал-ЭМ-1 (6,6 нм).

Ключевые слова: компост, ферментирование, микроструктура, порометрический анализ.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 26.02.2025, одобрена после рецензирования 28.03.2025, принята к печати 04.04.2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-56-63

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Бондарчук О. Н., Ульрих Е. В. Микроструктурный и порометрический анализ компоста, полученного из пищевых отходов. // Вестник Международной академии холода. 2025. № 2. С. 56–63. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-56-63

Microstructure and porometric analysis of compost from food waste

O. N. BONDARCHUK^{1*}, D. Sc. E. V. ULRICH²

¹Kuzbass State Agricultural University

²Kaliningrad State Technical University

*E-mail: b120983@list.ru

The article concerns study of the microstructure and porometric analysis of compost obtained from food waste by the fermentation method. The experiments were carried out with the following enzyme preparations: Baikal — EM-1; Ecobacteria-Terra; Amylase. An analytical scanning electron microscope was used for the microstructural analysis. Porometric analysis was carried out using an automatic analyzer of specific surface and porosity. Among all the studied samples, the compost obtained using the enzyme preparation Baikal-EM-1 demonstrated the most uniform microstructure. The most chaotic structure was observed in the sample obtained using the enzyme preparation Ecobacteria-Terra. The chemical composition of the composts was also studied using an electron microscope. It was found that when using the enzyme preparation Baikal-EM-1, the content of valuable microelements in the compost was generally higher than in other samples. It was found that the largest specific surface area of all the studied samples was observed in the sample obtained using the Amylase preparation, which is a sign of a large number of micropores in the body structure. The smallest specific surface area was in the sample obtained using Ecobacteria-Terra — $1.281 \text{ m}^2/\text{g}$. The total pore volume

for the samples obtained using *Baikal-EM-1* and *Amylase* was $0.011 \text{ cm}^3/\text{g}$. For the sample with *Ecobacteria-Terra*, this figure was $0.005 \text{ cm}^3/\text{g}$. It was found that for all samples, the largest number of pores were in the diameter range of 3–4 nm. The average pore diameter in the samples with *Baikal-EM-1* and *Amylase* was approximately the same and was 21–22 nm. For the sample with *Ecobacteria-Terra*, this figure is lower and was about 16 nm. For all the samples, the average adsorption pore diameter is several times higher than the average desorption pore diameter. The largest average diameter for adsorption was found in the sample obtained using *Amylase* (47.5 nm), and the largest average diameter for desorption pores was found in the sample using *Baikal-EM-1* (6.6 nm).

Keywords: compost, fermentation, microstructure, porometric analysis.

Article info:

Received 26/02/2025, approved after reviewing 28/03/2025, accepted 04/04/2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-56-63

Article in Russian

For citation:

Bondarchuk O. N., Ulrich E. V. Microstructure and porometric analysis of compost from food waste. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2025. No 2. p. 56-63. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-56-63

Введение

Пищевые отходы являются одной из глобальных проблем, существующих в мире [1, 2]. В последнее время наблюдается изменение структуры питания населения, а также увеличение его численности, что неизбежно влечет за собой повышение объемов образующихся отходов [3, 4]. Причем это касается не только отходов предприятий пищевой промышленности, торговых сетей и предприятий общественного питания, но и бытовых пищевых отходов, образующихся в домохозяйствах [5]–[7]. К сожалению, люди редко задумываются о том, в каких количествах они выбрасывают отходы и к каким последствиям это потом приводит.

В России наблюдается в целом положительная динамика объемов пищевых отходов по годам (рис. 1) [8]. Представленный график свидетельствует о том, что с 2015 г. объем пищевых отходов в России постоянно увеличивается. Исключение составляет лишь 2020 г., когда произошла вспышка пандемии COVID 19 [9, 10].

Проблема большого объема пищевых отходов обусловлена не только финансовой составляющей, но еще и тем фактом, что такие отходы несут опасность с экологической точки зрения. Пищевые отходы относятся к 4 и 5 классам опасности. Они содержат достаточно большое количество влаги (более 60%) и являются благоприятной средой для развития опасных патогенных микроорганизмов и выделением неприятного запаха. Особенно явно

это проявляется за пределами домов, когда пищевые отходы попадают в контейнеры и на свалку. Образующиеся микроорганизмы являются причиной возникновения многих заболеваний, среди которых туберкулез, дизентерия и брюшной тиф. Помимо прочего пищевые отходы привлекают животных, насекомых и птиц, которые могут переносить заболевания и являться причиной возникновения пандемии [11, 12].

К сожалению, обычное захоронение пищевых отходов на специальных полигонах не решает проблемы, поскольку в этом случае все равно образуются кислые среды и накапливаются токсичные вещества, проникающие в почву и водоемы [13, 14]. Поэтому разрабатывают различные способы утилизации пищевых отходов [15]. Тем более что они содержат в себе ценные органические вещества — крахмал, жиры, белки, углеводы, которые могут перерабатываться в различные продукты и для производства энергии [16].

Одним из перспективных способов является ферментативная переработка в органическое удобрение — компост. Компостирование представляет собой биологический процесс разложения органики при помощи микроорганизмов. Это экологически чистый способ переработки, который подходит для пищевых отходов [17, 18]. Компостирование позволяет уменьшить количество отходов и обеспечить переработку сырья в биологически ценное удобрение, позволяющее повысить плодородие почвы [19, 20].

На эффективность ферментирования влияет множество факторов: температура, продолжительность, влажность исходного сырья, а также вид ферментного препарата. Литературный анализ позволил установить, что в этой области существует определенный пробел. Особенно это касается исследования свойств получаемого компоста. Среди таких свойств — микроструктура и порометрический анализ. Указанные характеристики являются важными, так как они позволяют выявить пространственное расположение компонентов в массе, их количественный состав, а также сорбционные свойства продукта [21, 22].

Таким образом, целью настоящей работы являлся микроструктурный и порометрический анализ компоста, полученного из пищевых отходов.

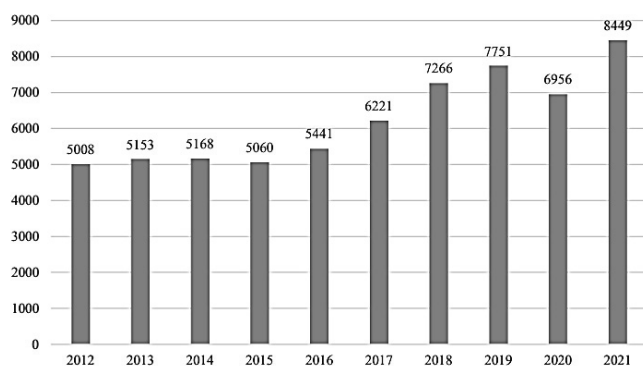


Рис. 1. Динамика образования пищевых отходов в России, млн т [8]

Fig. 1. Food waste dynamics in Russia, mil. t [8]

Материалы и методы

Для получения компоста использовали 1 кг пищевых отходов, которые смешивали с 0,3 кг торфа. В полученную смесь добавляли ферментный препарат в количестве 50 мл на 1 кг исходного сырья. Опыты проводили со следующими ферментными препаратами:

- Байкал — ЭМ-1;
- Экобактер-Терра;
- Амилаза.

Относительная влажность исходного сырья составляла 68%. После смешения с препаратом производили ферментирование при температуре 20 °С в течение 21 дня.

Для микроструктурного анализа использовали аналитический сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6390 LA (рис. 2) с рентгеновским энергодисперсионным анализатором JED 2300. Исследования проводили с использованием оборудования центра коллективного пользования ФИЦ УУХ СО РАН.

В рамках микроструктурных исследований на указанном электронном микроскопе анализировали также химический состав компоста. Для этого электронно-микроскопические изображения получали в обратно-рассеянных электронах (в режиме формирования контраста, зависящего преимущественно от химического состава образца (BEC)) при остаточном давлении в колонне микроскопа 150 Па для снятия заряда с поверхности образца. Анализ химического состава образцов компоста проводили, регистрируя характеристическое рентгеновское излучение при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА. Разрешающая способность энергодисперсионного детектора 133 эВ. Расчет процентного содержания каждого элемента в анализируемой пробе проводили по полученным спектрам с помощью программного обеспечения Analysis Station версии 3.62.07. компании JEOL Engineering с использованием нестандартного метода ZAF. Предел обнаружения детектора 0,01 % массы. Образцы наносили на двусторонний электропроводящий углеродный скотч.

Порометрический анализ проводили с использованием автоматического анализатора удельной поверхности и пористости 3P sync (рис. 3).



Рис. 2. Аналитический сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6390 LA

Fig. 2. Analytical scanning electronic microscope JEOL JSM-6390 LA

На указанном анализаторе проводилось исследование следующих характеристик:

- удельная поверхность по одноточечному и многоточечному методу БЭТ (ISO 9277, DIN 66131), а также по уравнению Ленгмюра;
- изотермы адсорбции и десорбции;
- удельный объем пор и их средний размер;
- распределение мезопор по размерам по методу BJH (DIN 66134) и по методу DH;
- анализ микропор (DIN 66135) по методам *t*-кривых, Дубинина — Радужкевича, Хорвата — Кавацо и Саито — Фоли;
- расчет распределения пор по размерам, удельной поверхности и объема пор по теории функционала плотности (NLDFT).

Результаты и обсуждение

На рис. 4 представлены фотографии микроструктуры компостов, полученных с помощью различных ферментных препаратов.

На полученных фотографиях микроструктуры прослеживается пористая структура сухого скелета образцов. Среди всех исследованных образцов, компост, полученный с применением ферментного препаратом Байкал-ЭМ-1, демонстрировал наиболее равномерную микроструктуру (рис. 4, а). На данной фотографии прослеживаются белковые глобулы, диаметром менее 10 нм. Наиболее хаотичная структура наблюдалась у образца, полученного с помощью ферментного препарата Экобактер-Терра (рис. 4, б). На указанной фотографии справа видны агрегаты цилиндрической формы с рифленой поверхностью. Что касается образца, полученного с применением ферментного препарата Амилаза, то микроструктура в нем была более равномерной (рис. 4, в). На фотографии отчетливо прослеживаются макро-и микропоры, а также белковые глобулы и солевые зерна.

С помощью электронного микроскопа был также исследован химический состав компостов, результаты сведены в табл. 1.

Установлено, что при использовании ферментного препарата Байкал-ЭМ-1 содержание ценных микроэлементов в компосте в целом было выше, чем в других об-



Рис. 3. Анализатор удельной поверхности и пористости 3P sync

Fig. 3. Specific surface area and porosity analyser 3P sync

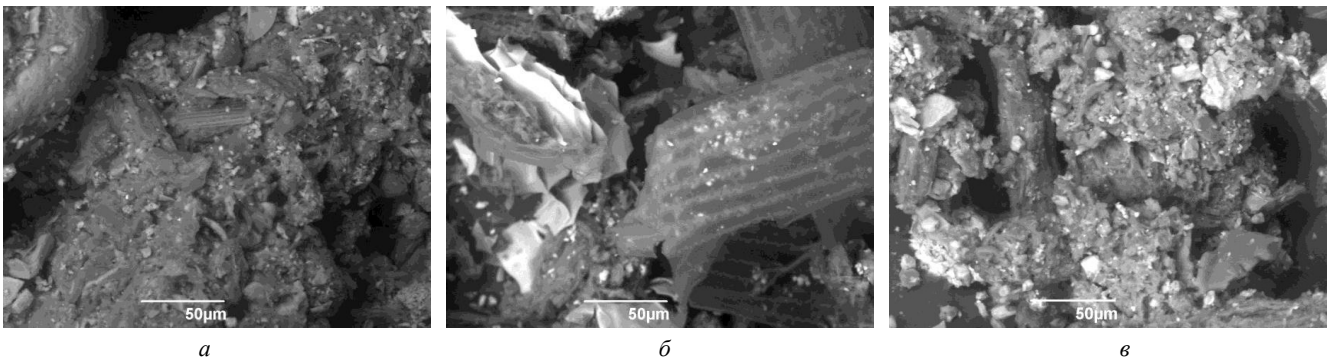


Рис. 4. Микроструктура компоста, полученного ферментированием препаратами: Байкал-ЭМ-1 (а); Экобактер-Терра (б); Амилаза (в)

Fig. 4. Microstructure of the compost obtained by fermentation with: Baikal — EM-1 (a); Ecobacteria-Terra (б); Amylase (в)

разцах. Это благоприятно сказывается на качестве компоста в целом. Например, более высокое содержание фосфора обуславливает улучшение обменных процессов, находится в составе клеточных структур растений, обеспечивающих их энергией. Высокое содержание кальция обуславливают лучшую агрономическую структуру, физические и биологические свойства, что существенно повышает плодородие почвы при внесении компоста.

Далее был проведен порометрический анализ компоста. В табл. 2 сведены данные по всем исследованным образцам.

Удельная площадь поверхности $S_{уд}$ (м²/г) рассчитывается по следующей формуле:

$$S_{уд}=S_v/m,$$

(1)

где S_v — общая площадь поверхности вещества, м²; m — масса вещества, г.

Данный параметр был получен методом адсорбции-десорбции азота. На рис. 5 приведены графики изотерм сорбции-десорбции.

Таблица 1
Содержание химических элементов в компосте, %

Table 1
Chemical composition of the compost, %

Элемент	Вид ферментного препарата		
	Байкал-ЭМ-1	Экобак-тер-Терра	Амилаза
Хлор	47,69	56,35	54,44
Кислород	39,58	37,68	35,75
Натрий	0,24	0,17	0,17
Магний	0,34	0,11	0,27
Алюминий	1,04	0,62	0,67
Кремний	3,74	2,00	2,61
Фосфор	0,17	0,13	0,14
Сера	0,83	0,11	0,82
Калий	0,38	0,43	0,24
Кальций	4,85	2,10	4,23
Железо	1,03	0,30	0,65

Таблица 2
Результаты анализа пористости образцов компоста

Table 2
Porosity analysis of the samples

Показатель	Вид ферментного препарата		
	Байкал-ЭМ-1	Экобактер-Терра	Амилаза
Удельная площадь поверхности, м ² /г	1,788	1,281	1,993
Площадь поверхности адсорбции, м ² /г	4,001	2,814	3,889
Площадь поверхности десорбции, м ² /г	4,120	2,764	3,874
Суммарный объем пор, см ³ /г	0,011	0,005	0,011
Объем пор поверхности адсорбции, см ³ /г	0,012	0,006	0,013
Объем пор поверхности десорбции, см ³ /г	0,012	0,006	0,013
Средний диаметр пор, нм	21,987	16,373	22,485
Средний диаметр пор адсорбции, нм	26,155	11,351	47,516
Наиболее частый диаметр пор адсорбции, нм	3,365	2,669	3,054
Средний диаметр пор десорбции, нм	6,661	5,103	5,997
Наиболее частый диаметр пор десорбции, нм	3,312	2,933	2,761

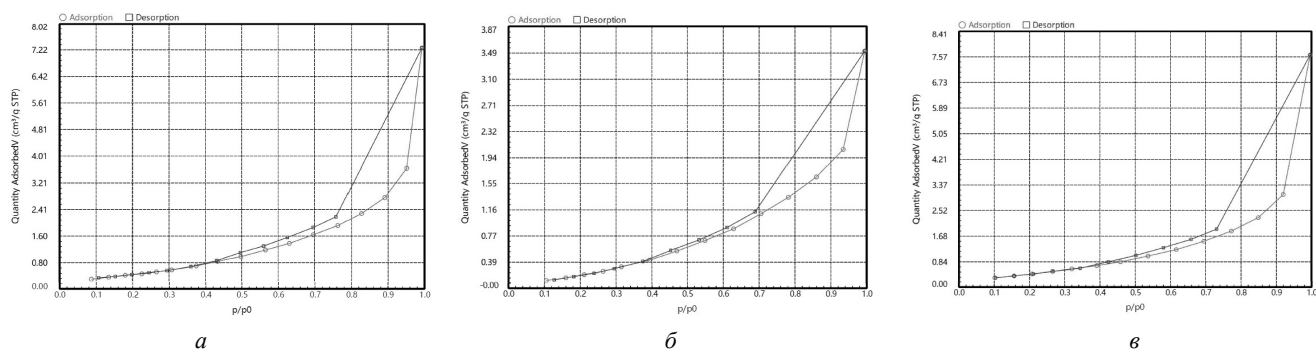


Рис. 5. Изотермы сорбции-десорбции образцов компоста, полученных с помощью: Байкал-ЭМ-1 (а); Экобактер-Терра (б); Амилаза (в)

Fig. 5. Sorption-desorption isotherms for the compost samples obtained with: Baikal — EM-1 (a); Ecobacteria-Terra (б); Amylase (в)

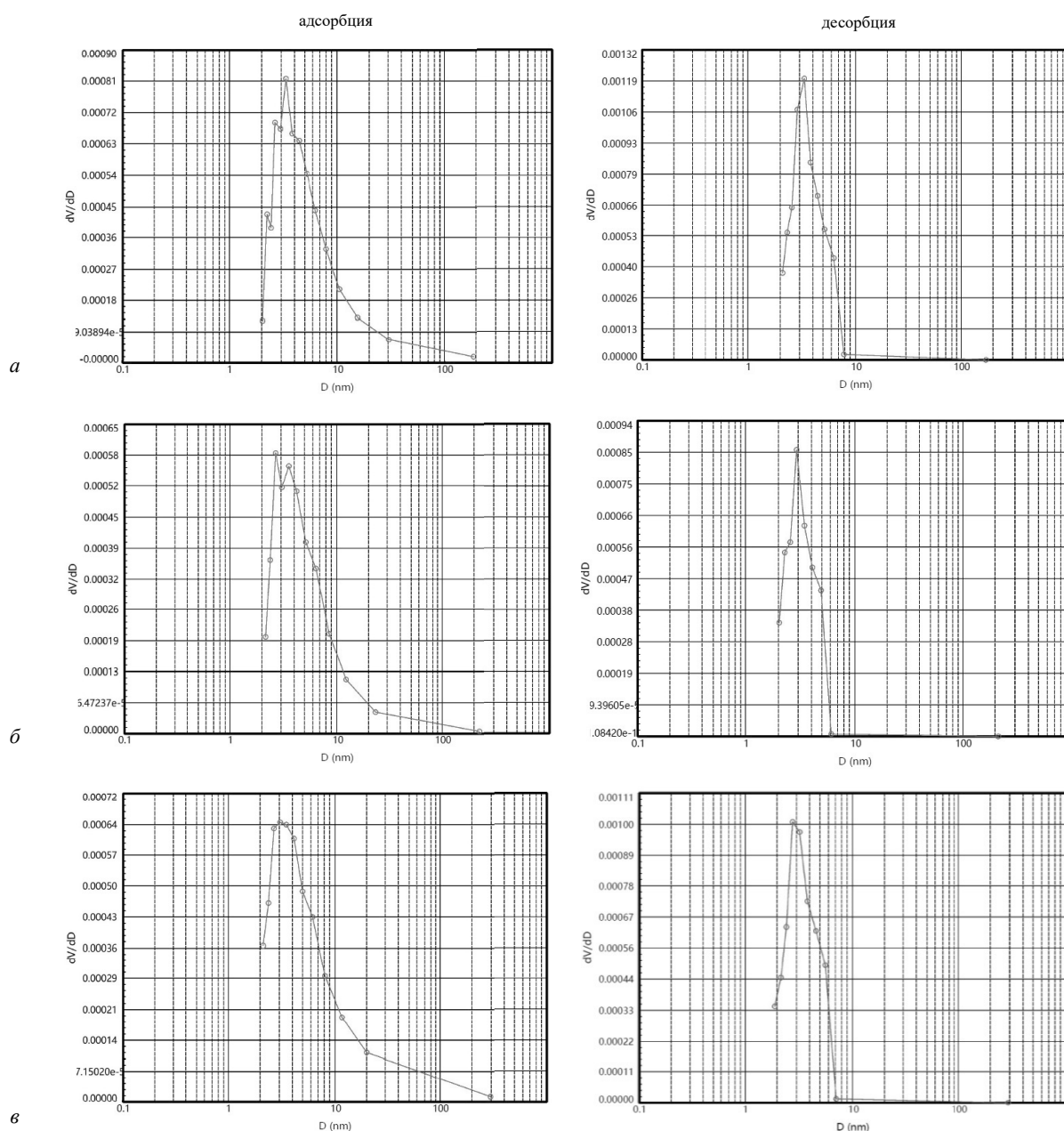


Рис. 6. Графики распределения диаметра пор адсорбции и десорбции для образцов, полученных с помощью: Байкал-ЭМ-1 (а); Экобактер-Терра (б); Амилаза (в)

Fig. 6. Distribution of adsorption and desorption pore diameter for the samples obtained with: Baikal — EM-1 (a); Ecobacteria-Terra (б); Amylase (в)

Обнаружено, что наибольшая удельная площадь поверхности из всех исследованных образцов наблюдалась у образца, полученного с помощью препарата Амилаза, что является признаком большого количества микропор в структуре тела. Наименьшая удельная площадь поверхности была у образца, полученного с помощью Экобактер-Терра (1,281 м²/г).

Площадь поверхности адсорбции и десорбции, объем пор и их средний диаметр определялись по методу Барретта-Джойнера-Халенды (ВЖН) [23]. При данном методе происходит воздействие на образец газообразного вещества при различных условиях с последующим измерением веса или объема. Установлено, что наибольшая площадь поверхности адсорбции-десорбции у образца, полученного с помощью препарата Байкал-ЭМ-1. Далее в порядке убывания — образцы, полученные с помощью Амилаза и Экобактер-Терра.

Общий объем пор для образцов, полученных препаратами Байкал-ЭМ-1 и Амилаза составил 0,011 см³/г. Для сравнения — у образца с Экобактер-Терра этот показатель составил 0,005 см³/г.

На рис. 6 приведены графики распределения диаметра пор адсорбции и десорбции для различных образцов.

На графиках на рис. 6 по оси абсцисс отложен диаметр пор в нм, а по оси ординат — отношение dV/dD , где V — объем пор, D — диаметр пор. Установлено, что для всех образцов наибольшее количество пор было в диапазоне диаметра 3–4 нм. Средний диаметр пор у образцов с Байкал-ЭМ-1 и Амилаза был приблизительно одинаковый и составил 21–22 нм. У образца с Экобактер-Терра этот показатель ниже и составил порядка 16 нм. Для всех образцов средний диаметр пор адсорбции в несколько раз выше, чем средний диаметр пор десорбции. Наибольший средний диаметр по адсорбции был у образца, получен-

ного с помощью Амилаза (47,5 нм), а наибольший средний диаметр пор десорбции у образца с Байкал-ЭМ-1 (6,6 нм).

Согласно рекомендациям ИЮПАК, пористые тела классифицируют по размеру пор на микропористые (поры до 2 нм), мезопористые (от 2 до 50 нм) и макропористые (св. 50 нм). Таким образом, исследованные образцы компостов можно отнести к мезопористым телам, поскольку большая часть пор приходится на диаметр от 2 до 50 нм.

Заключение

Таким образом, была исследована микроструктура и пористость компостов. Наиболее равномерная структура наблюдалась у компоста, полученного ферментированием препаратом Байкал-ЭМ-1, наиболее хаотичная — у компоста, полученного с помощью Экобактер-Терра. Наибольшая удельная площадь поверхности наблюдалась у компоста, полученного с помощью препарата Амилаза. Средний диаметр пор у компоста, полученного с помощью Байкал-ЭМ-1 — 21,9 нм, с помощью Экобактер-Терра — 16,3 нм и с помощью препарата Амилаза — 22,5 нм.

Анализируя полученные данные по пористости образцов компоста, можно прийти к выводу о том, что наибольшей адсорбирующей способностью обладает компост, полученный с помощью ферментного препарата Амилаза. Объем пор поверхности адсорбции/десорбции, а также удельная площадь поверхности у указанного компоста был наибольшим среди всех исследованных образцов.

Результаты проведенных исследований могут быть полезны работникам пищевой промышленности и научным сотрудникам, работающим в данной области. Возможным направлением дальнейших исследований может быть анализ влияния параметров ферментирования (дозы внесения препарата, продолжительности и т. д.) на порометрические характеристики и микроструктуру.

Литература

1. Осадчий Н. К. Анализ ключевых вопросов сокращения образования пищевых отходов: международный и российский опыт. // Современная экономика: проблемы и решения. 2022. № 7 (151). С. 29–47.
2. Zhablova A. A. Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy / A. A. Zhablova, E. A. Yakovleva, A. A. Ilunina // Менеджер года. 2021. с. 67–70.
3. Башурова Д. Е. Проблемы утилизации и переработки пищевых отходов. // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. «Новые технологии — нефтегазовому региону». В 2-х томах. Том 1. Тюмень, 2023. С. 119–120.
4. Федоров С. А. Проблема сокращения пищевых отходов и их утилизации для сохранения экологического состояния родного края. // Молодежь и наука. 2020. С. 462–464.
5. Van der Werf P., J. A. Gilliland, J. A. Seabrook. Reduce food waste, save money: testing a novel intervention to reduce household food waste. // Environment and Behavior. 2021. vol. 53. no 2. pp. 151–183.
6. Bobeică M. Exploratory analysis of food waste causes in Romanian households / Bobeică M., Arghiroiu G. A., Beciu S. // Ciencia Rural. 2024. vol. 54. no 6.

References

1. Osadchy N. K. Analysis of key issues of reducing food waste generation: international and Russian experience. *Modern economy: problems and solutions*. 2022. No. 7 (151). pp. 29–47. (in Russian)
2. Zhablova A. A. Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy / A. A. Zhablova, E. A. Yakovleva, A. A. Ilunina. *Manager of the Year*. 2021. p. 67–70.
3. Bashurova D. E. Problems of food waste disposal and processing. Materials of the International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and Young Scientists. «*New technologies for the oil and gas region*.» In 2 volumes. Vol. 1. Tyumen, 2023. pp. 119–120. (in Russian)
4. Fedorov S. A. The problem of reducing food waste and its disposal to preserve the ecological state of the native land. *Youth and science*. 2020. pp. 462–464. (in Russian)
5. Van der Werf P., J. A. Gilliland, J. A. Seabrook Reduce food waste, save money: testing a novel intervention to reduce household food waste. *Environment and Behavior*. 2021. vol. 53. no 2. pp. 151–183.
6. Bobeică M. Exploratory analysis of food waste causes in Romanian households / Bobeică M., Arghiroiu G. A., Beciu S. *Ciencia Rural*. 2024. vol. 54. no 6.

7. Бондарчук О. Н. Количественная и качественная оценка пищевых отходов, образующихся в домохозяйствах / О. Н. Бондарчук, Е. В. Ульрих, Д. Е. Федоров, О. Б. Соснина // Инновации и продовольственная безопасность. 2024. № 4 (46). С. 9–16.
8. Худякова Е. Д. Проблема управления пищевыми отходами в ресторанах и отелях РФ. // Молодой ученый. 2022. № 3 (398). С. 63–65.
9. Filimonau V. Mitigation of food loss and waste in primary production of a transition economy via stakeholder collaboration: A perspective of independent farmers in Russia/Filimonau V., Ermolaev V. A. // Sustainable Production and Consumption. 2021. Vol. 28, P. 359–370. DOI: 10.1016/j.spc. 2021.06.002
10. Filimonau V., Ermolaev V. A. A sleeping giant? Food waste in the foodservice sector of Russia. // Journal of Cleaner Production, 2021, 297, 126705. DOI: 10.1016/j.jclepro. 2021.126705
11. Filimonau V. Food waste and its management in restaurants of a transition economy: An exploratory study of Uzbekistan/Filimonau V., Ma-tyakubov U., Allonazarov O., Ermolaev V. // Sustainable Production and Consumption 2021, 29, (2022), P. 25–35. DOI: 10.1016/j.spc. 2021.09.018
12. Filimonau V., Ermolaev V. A. Exploring the potential of industrial symbiosis to recover food waste from the foodservice sector in Russia. // Sustainable Production and Consumption 2021, 29, (2022), P. 467–478. DOI: 10.1016/j.spc. 2021.10.028
13. Акимова Р. А., Амирханова А. М. Современные проблемы обеспечения экологической безопасности в сфере общественного питания. // Обществознание и социальная психология. 2022. № 7 (37). С. 231–234.
14. Vilas-Boas A. A. Natural bioactive compounds from food waste: toxicity and safety concerns/A. A. Vilas-Boas, M. Pintado, A. L. S. Oliveira // Foods. 2021. vol. 10. No 7.
15. Суворов О. А. Систематический обзор ресурсосберегающих технологий, проблем экологизации сокращения образования пищевых отходов/О. А. Суворов, А. Л. Кузнецов, Н. Э. Воротынцев, Е. Ю. Князев, М. Б. Мойсеяк // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11. № 3. С. 5–14.
16. Субракова Л. К. Экономика обращения с пищевыми отходами в России // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2021. № 1. С. 37–48.
17. Солокова В. И., Крусир Г. В. Исследование влияния микробиологической добавки на процесс компостирования // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. 2020. С. 298–301.
18. Садеева О. А., Крусир Г. В. Совершенствование технологии компостирования пищевых отходов в системе управления экологической безопасностью. // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. 2020. С. 420–423.
19. Коровин А. А. Получение органоминеральных удобрений из отходов сельскохозяйственного производства/А. А. Коровин, В. В. Голембовский // Орошаемое земледелие. 2023. № 3 (42). С. 10–13.
20. Савушкина Е. Ю. Компостирование как оптимальный метод переработки пищевых отходов/Е. Ю. Савушкина, Н. В. Орлов, А. Г. Нораева // Лучшая студенческая статья 2020. С. 251–263.
21. Ульрих Е. В. Исследование процессов ферментации пищевых отходов препаратом «Байкал ЭМ-1»/Е. В. Ульрих, О. Н. Бондарчук // Вестник КрасГАУ. 2024. № 11. С. 177–182.
7. Bondarchuk O. N. Quantitative and qualitative assessment of food waste generated in households/O. N. Bondarchuk, E. V. Ulrich, D. E. Fedorov, O. B. Sosnina. *Innovations and food safety*. 2024. No. 4 (46). pp. 9–16. (in Russian)
8. Khudyakova E. D. The problem of food waste management in restaurants and hotels in the Russian Federation. *Young scientist*. 2022. No. 3 (398). pp. 63–65. (in Russian)
9. Filimonau V. Mitigation of food loss and waste in primary production of a transition economy via stakeholder collaboration: A perspective of independent farmers in Russia/Filimonau V., Ermolaev V. A. *Sustainable Production and Consumption*. 2021. Vol. 28, P. 359–370. DOI: 10.1016/j.spc. 2021.06.002
10. Filimonau V., Ermolaev V. A. A sleeping giant? Food waste in the foodservice sector of Russia. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 297, 126705. DOI: 10.1016/j.jclepro. 2021.126705
11. Filimonau V. Food waste and its management in restaurants of a transition economy: An exploratory study of Uzbekistan/Filimonau V., Ma-tyakubov U., Allonazarov O., Ermolaev V. *Sustainable Production and Consumption* 2021, 29, (2022), P. 25–35. DOI: 10.1016/j.spc. 2021.09.018
12. Filimonau V., Ermolaev V. A. Exploring the potential of industrial symbiosis to recover food waste from the foodservice sector in Russia. *Sustainable Production and Consumption* 2021, 29, (2022), P. 467–478. DOI: 10.1016/j.spc. 2021.10.028
13. Akimova R. A., Amirkhanova A. M. Modern problems of ensuring environmental safety in the field of public catering. *Social studies and social psychology*. 2022. No. 7 (37). pp. 231–234. (in Russian)
14. Vilas-Boas A. A. Natural bioactive compounds from food waste: toxicity and safety concerns/A. A. Vilas-Boas, M. Pintado, A. L. S. Oliveira. *Foods*. 2021. vol. 10. No 7.
15. Suvorov O. A., Kuznetsov A. L., Vorotyntsev N. E., Knyazev E. Yu., Moiseyak M. B. A systematic review of resource-saving technologies and problems of greening food waste reduction. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*. 2023. Vol. 11. No. 3. pp. 5–14. (in Russian)
16. Subrakova L. K. Economics of food waste management in Russia. *Bulletin of VSU. Series: Economics and Management*. 2021. No. 1. pp. 37–48. (in Russian)
17. Sokolova V. I., Krusir G. V. Investigation of the effect of microbiological additives on the composting process. *Sakharov Readings 2020: Environmental problems of the 21st century*. 2020. pp. 298–301. (in Russian)
18. Sagdeeva O. A., Krusir G. V. Improvement of food waste composting technology in the environmental safety management system. *Sakharov Readings 2020: Environmental problems of the 21st century*. 2020. pp. 420–423. (in Russian)
19. Korovin A. A. Obtaining organomineral fertilizers from agricultural waste/A. A. Korovin, V. V. Golembovsky. *Irrigated agriculture*. 2023. No. 3 (42). pp. 10–13. (in Russian)
20. Savushkina E. Y. Composting as an optimal method of processing food waste/E. Y. Savushkina, N. V. Orlov, A. G. Noraeva. *The best student article 2020*. 2020. pp. 251–263. (in Russian)
21. Ulrich E. V. Investigation of food waste fermentation processes with Baikal EM-1/E. V. Ulrich, O. N. Bondarchuk. *Bulletin of KrasGAU*. 2024. No. 11. pp. 177–182. (in Russian)

22. Бондарчук О. Н., Ермолаев В. А. Пищевые отходы и их ферментация. // Агропромышленные технологии Центральной России. 2024. № 2. С. 9–16.
23. 暴 Analysis Method of Pore Size Distribution of Porous Materials/ 暴, 丽霞 // Material Sciences. 2020. 10. 95–103. DOI: 10.12677/MS. 2020.102012.
22. Bondarchuk O. N., Ermolaev V. A. Food waste and its fermentation. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2024. No. 2. pp. 9–16. (in Russian)
23. 暴 Analysis Method of Pore Size Distribution of Porous Materials/ 暴, 丽霞 // Material Sciences. 2020. 10. 95–103. DOI: 10.12677/MS. 2020.102012.

Сведения об авторах

Бондарчук Ольга Николаевна

Аспирант, ассистент кафедры биотехнологии и производства продуктов питания, Кузбасский государственный аграрный университет им. В. Н. Полецкова, Россия, 650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5, b120983@list.ru

Ульрих Елена Викторовна

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции, Калининградский государственный технический университет, 236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, elen.ulrich@mail.ru

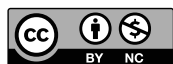
Information about authors

Bondarchuk Olga N.

Assistant Professor at the Department of Biotechnology and Food Production, Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Russia, 650056, Kemerovo, Markovtseva str., 5, b120983@list.ru

Ulrich Elena V.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Production and Quality Assessment of Agricultural Products, Kaliningrad State Technical University, 1 Sovetsky ave., Kaliningrad, 236022, Russia, elen.ulrich@mail.ru



Статья доступна по лицензии

Creative Commons «Attribution-NonCommercial»



33 международная агропромышленная выставка-ярмарка АГРОРУСЬ-2025

Выставка «АГРОРУСЬ»

27 – 29 августа 2025 г.

Ярмарка региональных продуктов «АГРОРУСЬ»

23 – 31 августа 2025 г.

Международная агропромышленная выставка «Агрорусь» – одно из крупнейших специализированных мероприятий СЗФО в сфере АПК. Выставка входит в число приоритетных проектов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и традиционно проводится в конгрессно-выставочном центре «Экспофорум» в Санкт-Петербурге.

Актуальные темы выставки «АГРОРУСЬ-2024»:

- оборудование для перерабатывающей промышленности (в т. ч. для малых форм хозяйствования АПК);
- зоотехния: питание (комбикорма, кормовые добавки), разведение, содержание (ветеринария, средства по уходу);
- растениеводство: селекция, удобрения, средства защиты растений;
- IT-решения в сфере АПК;
- услуги по упаковке, хранению, транспортировке, утилизации.

Тематические зоны ярмарки:

- ✓ Мед.
- ✓ Грибы и ягоды.
- ✓ Овощи и фрукты.
- ✓ Мясо. Рыба.
- ✓ Товары для сада.

<http://agrorus.expoforum.ru/>

Организатор выставки-ярмарки:

Министерство сельского хозяйства РФ,
при официальной поддержке Правительств
Санкт-Петербурга и Ленинградской
области.

Место проведения:

КВЦ «Экспофорум»
Петербургское шоссе 64, корпус 1