

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-2-306-320

EDN: PCWYYE

УДК 628.473.22

Научная статья / Research article

Исследование физико-химических свойств и микробиоценоза целлюлозосодержащего волокна — побочного продукта производства кормов для животных

И.Р. Курзенёв , Т.А. Василенко *Белгородский государственный технический университет, Белгород, Российская
Федерация* spandwaryandex@gmail.com

Аннотация. Исследованы физико-химические, токсикологические свойства целлюлозосодержащего волокна, являющегося побочным продуктом производства кормов для животных, и установлен консорциум микроорганизмов, который развивается на исследуемом объекте. Химический состав целлюлозосодержащего волокна следующий: влажность — 47,00 %; зола — 1,16 %; органическое вещество — 51,84 % (в том числе крахмал — 25,10 %; жиры — 4,40 %). Содержание азота и фосфора в исследуемом образце составляет 2,43 и 1,90 %. Исследована зависимость изменения pH, влажности от времени естественной ферментации исследуемого образца. Был проведен анализ золы исследуемого побочного продукта, в котором преобладают оксиды: кремния SiO_2 — до 51,30 %; фосфора P_2O_5 — до 17,63 %; алюминия Al_2O_3 — до 10,25 %. Установлен микробиоценоз водной вытяжки из целлюлозосодержащего волокна при посеве на твердые агаризованные среды; преобладающими являются микроорганизмы, относящиеся к родам: *Penicillium*, *Cladosporium*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* и *Escherichia*. Кратность разведения водной вытяжки из исследуемого объекта, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует, равна 100, что соответствует малоопасному отходу по степени негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: ферментация, волокно зерна злаковых культур, микроорганизмы

Вклад авторов. Курзенёв И.Р. — анализ полученных данных, написание текста, дизайн исследования. Василенко Т.А. — концепция исследования, обработка материалов. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Курзенёв И.Р., Василенко Т.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Заявление о доступности данных. Все данные, полученные в ходе этого исследования, включены в опубликованную статью.

История статьи: поступила в редакцию 15.12.2025; доработана после рецензирования 29.12.2025; принята к публикации 11.02.2026.

Для цитирования: Курзенёв И.Р., Василенко Т.А. Исследование физико-химических свойств и микробиоценоза целлюлозосодержащего волокна — побочного продукта производства кормов для животных // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 2. С. 306–320. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-306-320> EDN: PCWYYE

Research of the physico-chemical properties and microbiocenosis of cellulose-containing fiber — a by-product of the production of animal feed

Ivan R. Kurzenev^{ID}✉, Tatyana A. Vasilenko^{ID}

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation

✉spandwaryandex@gmail.com

Abstract. The physicochemical and toxicological properties of cellulose-containing fiber, which is a by-product of animal feed production, have been investigated and a consortium of microorganisms has been established, which is developing at the facility under study. The chemical composition of cellulose-containing fiber is as follows: moisture — 47.00%; ash — 1.16%; organic matter — 51.84% (including: starch — 25.10%; fats — 4.40%). The nitrogen and phosphorus content in the test sample is 2.43 and 1.90%. The dependence of changes in pH and humidity on the time of natural fermentation of the sample studied is investigated. The ash of the studied by-product was analyzed, in which oxides predominate: silicon SiO_2 — up to 51.30%; phosphorus P_2O_5 — up to 17.63%; aluminum Al_2O_3 — up to 10.25%. Microbiocenosis of aqueous extracts from cellulose-containing fiber has been established when seeded on solid agarized media; microorganisms belonging to the genera *Penicillium*, *Cladosporium*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* and *Escherichia* are predominant. The multiplicity of dilution of aqueous extract from the studied object, in which there is no harmful effect on aquatic organisms, is equal to 100, which corresponds to low-hazard waste in terms of the degree of negative impact on the environment.

Keywords: fermentation, grain fiber of cereal crops, microorganisms

Funding. This work was realized in the framework of the Program “Priority 2030” on the base of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. The work was realized using equipment of High Technology Center at BSTU named after V.G. Shukhov.

Authors’ contribution. I.R. Kurzenev — analysis of the obtained data, writing the text, and research design; T.A. Vasilenko — research concept, material processing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Data availability statement. All data obtained during this study are included in the published article.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. No generative artificial intelligence technologies were used in the creation of this article.

Article history: received 15.12.2025; revised 29.12.2025; accepted 11.02.2026.

For citation: Kurzenev IR, Vasilenko TA. Research of the physico-chemical properties and microbiocenosis of cellulose-containing fiber — a by-product of the production of animal feed. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(2):306–320. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-306-320> EDN: PCWYYE

Введение

Органические отходы жизнедеятельности в животноводстве сильно загрязнены по санитарно-бактериологическому состоянию. При правильном соблюдении условий компостирования патогенная микрофлора погибает [1]. Скорость разложения органических материалов, содержащих целлюлозу, зависит от активности членов микробного сообщества, которые требуют исследований [2]. Органические отходы садоводства и овощеводства (бахчевые и овощные культуры) являются ценным сырьем при получении масла с использованием масляных дрожжей *Cryptococcus curvatus* при начальном содержании углеводов в пределах 30–65 г/л [3]. Верно подобранный консорциум микроорганизмов для отхода органического происхождения — навоза крупного рогатого скота — способствует снижению численности патогенной микрофлоры и фиксирует атмосферный азот при компостировании [4]. Для отходов сельского хозяйства, являющихся вторичными материальными ресурсами, содержащими лигнин, целлюлозу, крахмал и пектин, применяются природные и специально выведенные штаммы микроорганизмов, которые осуществляют микробиологическую переработку растительной биомассы [5]. Катализатором расщепления целлюлозы в составе органических отходов являются ферменты целлюлазы и полисахаридмонооксигеназы [6]. С целью повышения выхода метана при анаэробном разложении органических отходов в биореакторе возможно создание постоянного электрического тока. Данный процесс носит название «электрометаногенез» [7]. Микроорганизмы способны восстанавливать высокотоксичные и растворимые в воде соли тяжелых металлов до менее токсичных и слабо растворимых солей в сточных водах и осадках. Для этих целей применяются сульфатредуцирующие бактерии [8].

В работе представлены результаты по использованию почвенных мицелиальных грибов родов *Trichoderma*, *Aspergillus* и *Penicillium*, их термостабильность и целлюлазная активность. Используемые приемы можно рекомендовать для экспресс-отбора перспективных штаммов. Отобраны четыре культуры моноспоровых изолятов мицелиальных грибов, полученных из природных

резерватов, перспективные для включения в комплекс деструкторов для осуществления компостирования целлюлозосодержащих отходов и растительных остатков [9].

В работе [10] при создании искусственного почвогрунта использовались следующие компоненты: отход мокрой сепарации (15–20 %), глина (30–40 %), цитрогипс (10–15 %), песок (15–20 %), а в качестве источника органического вещества были использованы доступные нетоксичные отходы (растительные остатки). Полученная почвосмесь снижает антропогенное воздействие на окружающую среду и имеет приближенные характеристики, как у темно-серой лесной почвы.

С использованием молекулярно-биологических методов установлено, что значительная часть бактерий, архей и микроскопических грибов в микробиоценозе компоста, представлена некультивируемыми видами (не выделены в чистые культуры). Начальную мезофильную стадию компостирования осуществляют мезофильные бактерии и грибы, которые в дальнейшем при повышении температуры замещаются термофилами [11]. Авторами исследованы оптимальные условия процесса совместного компостирования, осуществленного в II этапа, помета птицы и рисовой соломы. Рисовая солома вначале обрабатывалась грибами родов *Trametes*, *Phanerochaete* и *Lentinus* [12]. На примере сельскохозяйственных отходов, таких как кукурузный початок и жмых сахарного тростника, показана возможность получения бактериальной целлюлозы с использованием двух групп бактерий рода *Komagataeibacter* [13]. Выход бактериальной целлюлозы возрастает в два раза при культивировании бактерий рода *Komagataeibacter* совместно с бактериями, продуцирующими декстран (рода *Leuconostoc*) и ксантан (рода *Xanthomonas*). Питательной средой для культивирования служил побочный продукт — меласса [14].

Цель исследования — исследование процесса ферментации целлюлозосодержащего волокна.

Задачи:

- 1) изучить физико-химические показатели целлюлозосодержащего волокна;
- 2) исследовать микробиоценоз путем посева водной вытяжки из образца на твердые агаризованные среды.

Материалы и методы

Целлюлозосодержащее волокно представляет собой плотно спрессованные влажные волокна с хлебным запахом, образуется в производстве кормовых добавок микробиологическим способом для животных. Данное волокно формируется из зерна злаковых культур после измельчения и частичной ферментации. На поверхности волокна в процессе хранения уже с первых дней

контактирования с окружающей средой было обнаружено обрастание плесневыми мицелиальными грибами с характерным тухлым запахом. Рост мицелиальных грибов на поверхности волокна представлен на рис. 1, а–г. Наблюдались физическое разрушение и фрагментация растительного материала на более мелкие части, что обеспечивало большую площадь поверхности для колонизации микроорганизмами. В процессе разложения в окружающей среде в исследуемом целлюлозосодержащем волокне появились колонии мокриц рода *Oniscidea* (рис. 1, д), в среднем 60 особей на 1 кг образца. Обнаруженные членистоногие относятся к редуцентам. Для физико-химических и токсикологических исследований волокно было высушено при температуре 105 °С (рис. 1, е). Были изучены физико-химические свойства волокна (табл. 1).

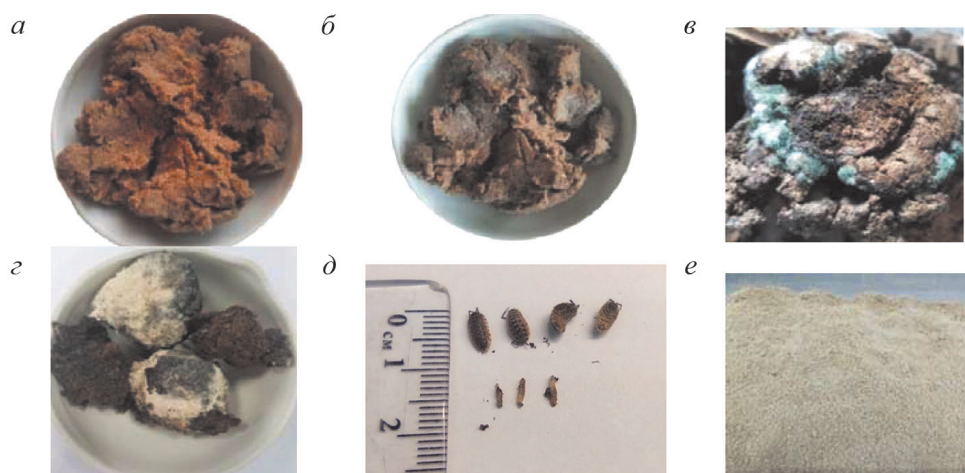


Рис. 1. Рост мицелиальных грибов на поверхности волокна:

а — второй день; б — третий день; в — десятый день; г — восемьдесят пятый день; д — мокрицы рода *Oniscidea*; е — образец после измельчения (размер фракции менее 5 мм) и высушивания при температуре 105 ± 2 °С

Источник: фото И.Р. Курзенёва.

Figure 1. Growth of mycelial fungi on the fiber surface:

а — second day; б — third day; в — the tenth day; г — the eighty-fifth day; д — genus of woodlice *Oniscidea*; е — sample after crushing (fraction size less than 5 mm) and drying at a temperature (105 ± 2) °С

Source: photo by I.R. Kurzenev.

Целлюлозосодержащее волокно состоит из следующих компонентов: вода — 47,00 %; органическое вещество (сложные углеводы, жиры) — 51,84 %; зола — 1,16 % (минеральные компоненты). В исследуемом образце преобладает содержание макроэлементов: азота — 2,43 %, фосфора — 1,90 %; содержание сложных углеводов следующее: крахмал — 25,10 %, клетчатка — 3,76 %. В водной вытяжке (1:10) из целлюлозосодержащего волокна содержание водорастворимых солей составляет 5,21 г/л. В технологическом процессе образования исследуемого продукта в производстве используется неорганическая кислота, которая влияет на значение рН солевой и водной вытяжки. Были изучены физико-химические свойства волокна (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства целлюлозосодержащего волокна

Показатель, единица измерения	Значение
Азот/белок, %	$2,43 \pm 0,24^*/13,85 \pm 1,39^*$
Крахмал, %	$25,10 \pm 5,02^*$
Зола/Зола, нерастворимая в HCl, %	$1,16 \pm 0,14^*/0,04 \pm 0,01^*$
Кальций, %	$0,03 \pm 0,01^*$
Целлюлоза, %	$3,76 \pm 0,75^*$
Фосфор, %	$1,90 \pm 0,38^*$
Жиры, %	$4,40 \pm 1,23^*$
Влажность, %	$47,00 \pm 9,40^*$
pH водной вытяжки (1:5), pH	$4,22 \pm 0,20^*$
pH водной вытяжки (1:10), pH	$5,41 \pm 0,20^*$
pH KCl 1M (1:5), pH	$4,56 \pm 0,20^*$
Солесодержание водной вытяжки (1:10), г/л	$5,21 \pm 1,04^*$
Органическое вещество, %	$51,84 \pm 10,37^*$

*Значения расширенной неопределенности при коэффициенте охвата $k = 2$ и уровне доверия приблизительно 95 %.

Источник: составлено И.Р. Курзенёвым, Т.А. Василенко.

Table 1. Physicochemical properties of cellulose fiber

Properties, Unit of measurement	Values
Nitrogen/Protein, %	$2.43 \pm 0.24^*/13.85 \pm 1.39^*$
Starch, %	$25.10 \pm 5.02^*$
Ash/ Ash, Insoluble in HCl, %	$1.16 \pm 0.14^*/0.04 \pm 0.01^*$
Calcium, %	$0.03 \pm 0.01^*$
Cellulose, %	$3.76 \pm 0.75^*$
Phosphorus, %	$1.90 \pm 0.38^*$
Fat content, %	$4.40 \pm 1.23^*$
Humidity, %	$47.00 \pm 9.40^*$
pH Distilled water extract (1:5), pH	$4.22 \pm 0.20^*$
pH Distilled water extract (1:10), pH	$5.41 \pm 0.20^*$
pH Potassium chloride solution, 1M extract (1:5), pH	$4.56 \pm 0.20^*$
Salinity Distilled water extract (1:10), г/л	$5.21 \pm 1.04^*$
Organic matter, %	$51.84 \pm 10.37^*$

*Standard coverage factor $k = 2$ can yield an expanded uncertainty corresponding to a coverage probability of less than 95 %.

Source: compiled by I.R. Kurzenev, T.A. Vasilenko.

В процессе хранения (который сопровождался гниением побочного продукта) влажность изменялась с 47 до 76%, а значение pH водной вытяжки (1:5) с 4,22 до 7,54 единиц pH. Высокое содержание влажности наблюдалось на 10-й день хранения. Увеличение влажности объясняется разложением растительного материала, которое сопровождается выделением воды и углекислого газа. Изучена корреляция влажности и pH (рис. 2).

Зола, полученная при сжигании исследуемого образца при температуре $(600 \pm 5)^\circ\text{C}$, была проанализирована методом рентгеновской дифракции прибором ARL 9900 WorkStation (табл. 2). Исследование золы позволяет определить минеральную часть исследуемого образца, в котором преобладают следующие оксиды, %: SiO_2 – до 51,30; P_2O_5 – до 17,63; Al_2O_3 – 10,25; CaO – 7,55; Na_2O – 6,44; K_2O – 4,05.

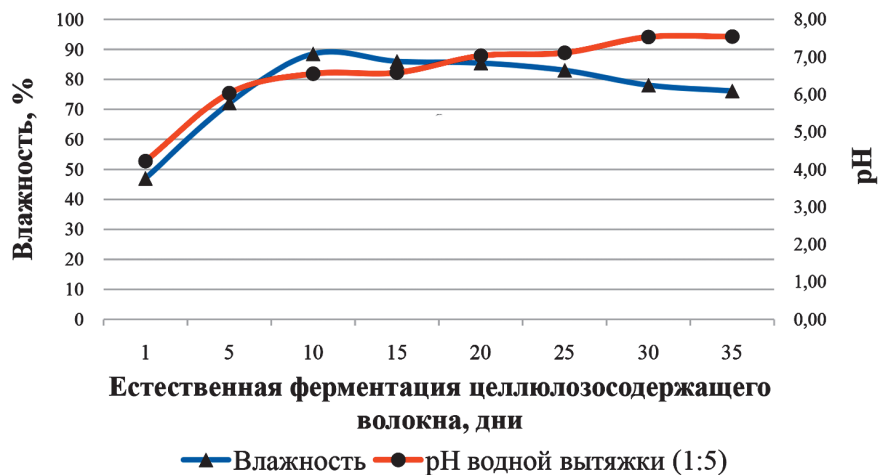


Рис. 2. Динамика изменения pH водной вытяжки (1:5) и влажности целлюлозосодержащего волокна от количества дней естественной ферментации
Источник: составлено И.Р. Курзенёвым, Т.А. Василенко.

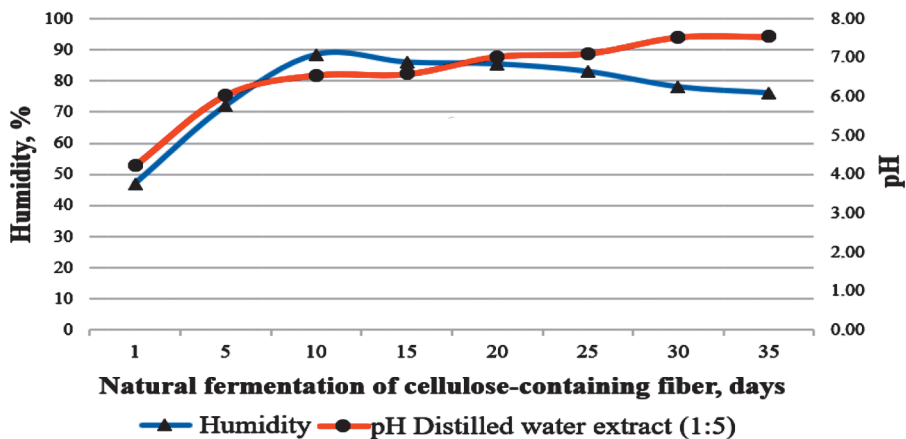


Figure 2. Dynamics of changes in pH of aqueous extract (1:5) and moisture content in cellulose-containing fiber depending on the number of days of natural fermentation
Source: compiled by I.R. Kurzenev, T.A. Vasilenko.

Таблица 2. Химический состав золы целлюлозосодержащего волокна

Оксид	Содержания, %
SiO ₂	50,65 ± 2,53*
P ₂ O ₅	16,96 ± 0,85*
Al ₂ O ₃	10,12 ± 0,51*
CaO	7,49 ± 0,38*
Na ₂ O	6,26 ± 0,31*
K ₂ O	3,97 ± 0,20*
MgO	1,86 ± 0,19*
SO ₃	1,16 ± 0,23*
Fe ₂ O ₃	0,82 ± 0,16*

*Значения расширенной неопределенности при коэффициенте охвата $k = 2$ и уровне доверия приблизительно 95 %.
Источник: составлено И.Р. Курзенёвым, Т.А. Василенко.

Table 2. Content of elements in ash of cellulose fiber

Oxides	Value, %
SiO ₂	50.65 ± 2.53*
P ₂ O ₅	16.96 ± 0.85*
Al ₂ O ₃	10.12 ± 0.51*
CaO	7.49 ± 0.38*
Na ₂ O	6.26 ± 0.31*
K ₂ O	3.97 ± 0.20*
MgO	1.86 ± 0.19*
SO ₃	1.16 ± 0.23*
Fe ₂ O ₃	0.82 ± 0.16*

*Standard coverage factor $k = 2$ can yield an expanded uncertainty corresponding to a coverage probability of less than 95%.

Source: compiled by I.R. Kurzenev, T.A. Vasilenko.

Определение токсичности водной вытяжки (1:10) из исследуемого образца проводилось в соответствии с требованиями аттестованных методик биотестирования на двух разных тест-объектах (табл. 3)¹. По результатам биотестирования целлюлозосодержащие волокно относится к IV классу опасности (малоопасный).

Таблица 3. Степень негативного воздействия на окружающую среду

Тест-объект	Продолжительность наблюдений, часы	Оценка тестируемой пробы
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	48	Наличие острого токсического действия. Безвредная кратность разбавления — 100
<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Beijer</i>	22	Наличие токсического действия. Безвредная кратность разбавления — 100

Источник: составлено И.Р. Курзенёвым, Т.А. Василенко.

Table 3. The degree of negative impact on the environment

Unit	Hours after start of analysis	Conclusion
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	48	The harmless dilution factor is 100
<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Beijer</i>	22	The harmless dilution factor is 100

Source: compiled by I.R. Kurzenev, T.A. Vasilenko.

¹ Приказ Минприроды России от 31.03.2025 № 158 «Об утверждении критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.04.2025 № 82010). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=494395> (дата обращения: 09.04.2026); ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Москва, 2014. 36 с.; Жмур Н.С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. Федеральный реестр ФР.1.39.2007.03221. Москва : АКВАРОС, 2007. 56 с.

Результаты исследований

В качестве оценки микробиологической активности был выполнен посев на твердых агаризированных средах: агар Сабуро; питательная среда № 1 ГРМ и агар Эндо–ГРМ. Посев водной вытяжки из целлюлозосодержащего волокна (аликвота 100–200 мкл в зависимости от разбавлений (10, 15, 20, 30 раз) осуществлялся в следующие дни после отбора: 1, 10, 20, 35-й.

После посева на твердой питательной среде агар Сабуро водной вытяжки из исследуемого образца развивались плесневые грибы родов *Penicillium*, *Cladosporium* (рис. 3). Окраска колоний определяется главным образом цветом массы конидий и в меньшей степени – изменением с возрастом цвета мицелия и пигментов, выделяемых им в субстрат.

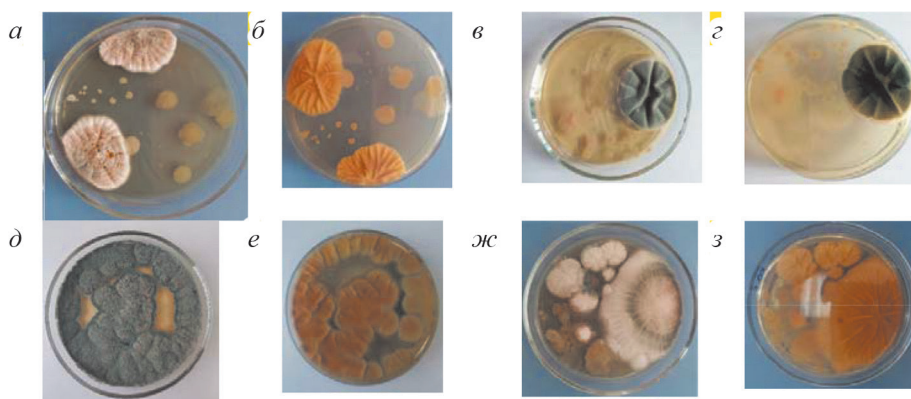


Рис. 3. Колонии мицелиальных грибов родов *Penicillium* (а, б, е–з), *Cladosporium* (в, г) на среде Сабуро

Источник: фото И.Р. Курзенёва.

Figure 3. Colonies of mycelial fungi of the genus *Penicillium* (а, б, е–з), *Cladosporium* (в, г) Sabouraud agar
Source: photo by I.R. Kurzenev.

Микрофотографии спор и конидий представлены на рис. 4, для этих целей использовался микроскоп Levenhuk 870T с цифровой камерой Levenhuk C800 NG 8M. Характеристики колоний мицелиальных грибов следующие:

– колонии рода *Penicillium* умеренно глубокие; плоские; края целые; мицелий в центре желтый, по краям белый; текстура хлопковая; реверс желтый; конидии в массе желтые; имеется экссудат (рис. 3, а, б). Микроскопическое строение гриба представлено на рис. 4, б;

– колонии рода *Cladosporium* умеренно глубокие, плоские; края целые; мицелий черный; текстура хлопковая; реверс черный; конидии в массе темные; экссудат отсутствует (рис. 3, в, г). Было исследовано микроскопическое строение гриба (рис. 4, а);

– колонии рода *Penicillium* умеренно глубокие; плоские; края целые; мицелий в центре буро-зеленый, по краям имеет сизо-зеленую окантовку; текстура хлопковая; реверс желтый; конидии в массе серо-зеленые; экссудат отсутствует (рис. 3 д, е). Микроскопическое строение гриба представлено на рис. 4, в;

– колонии рода *Penicillium* умеренно глубокие; плоские; края целые; мицелий белый, состоящий из сплетений гиф, восходит над субстратом; реверс желтый; экссудат отсутствуют (рис. 3, ж, з). Микроскопическое строение гриба представлено на рис. 4, г.

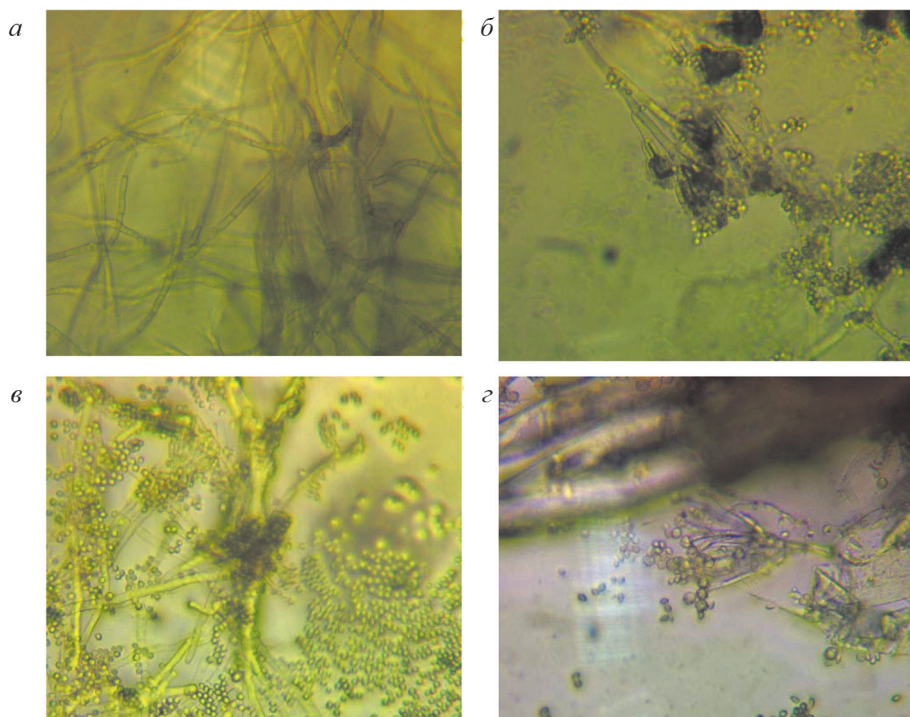


Рис. 4. Споры, спорангии и конидиеносцы мицелиальных грибов под микроскопом (увеличение 400х) родов *Cladosporium* (а) и *Penicillium* (б–г)

Источник: фото И.Р. Курзенёва.

Figure 4. Spores, sporangia and conidiophores of filamentous fungi under a microscope (magnification 400x) of the genera *Cladosporium* (a), *Penicillium* (б–г)

Source: photo by I.R. Kurzenev.

Для рода *Penicillium* характерно споровое строение (рис. 4, б–г), конидиеносцы септированные, на конце имеют кисточку, которая может быть трех- или четырехъярусная. Конидиеносцы заканчиваются одиночными клетками спор. Конидии рода *Cladosporium* формируются в виде длинных, практически не разветвленных конидиеносцев (рис. 4, а); конидии имеют бледно-оливковый цвет, гладкостенные.

На твердой питательной среде ГРМ-агар после посева водной вытяжки из исследуемого образца были обнаружены предположительно дрожжи родов *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces*, с характерным «хлебным» запахом и бактерии рода *Bacillus* (рис. 5).

Характеристики колоний рода *Bacillus* (рис. 5): колонии бактерий сухие, мелкоморщинистые, бархатистые, кремовые. Край колонии волнистый; диаметр колоний от 3 до 12 мм.



Рис. 5. Общий вид дрожжей родов *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* и бактерий рода *Bacillus* в чашках Петри на среде ГРМ-агар

Источник: фото И.Р. Курзенёва.

Figure 5. General appearance of yeasts of the genera *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* and bacteria of the genus *Bacillus* in Petri dishes on GRM agar medium

Source: photo by I.R. Kurzenev.

Характеристики колоний родов *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* (см. рис. 5): форма колоний круглая; диаметр колоний от 2 до 9 мм; цвет молочный или белый; поверхность гладкая. При старении цвет колоний темнеет. Клетки рода *Saccharomyces* имеют овальную форму, а рода *Schizosaccharomyces* – палочковидную.

Расчет количества колониобразующих единиц на грамм растительного волокна (X , КОЕ/г) с пересчетом на абсолютно сухую навеску осуществлялся по формуле

$$X = \frac{\sum CFU \cdot 10^n}{V \cdot k}, \quad (1)$$

где $\sum CFU$ — количество колоний в одной чашке, шт.; k — коэффициент пересчета на абсолютно сухую навеску ($1 - W$); W — влажность образца, доли единицы; n — степень разведения, из которого сделан посев; V — объем аликвоты водной вытяжки из образца.

Результаты подсчета количества микроорганизмов представлена в табл. 4².

С увеличением количества дней экспонирования наблюдалась тенденция к увеличению числа микроорганизмов в растительном волокне (табл. 4). На твердой питательной среде Эндо после посева водной вытяжки из исследуемого образца на 35-й день естественной ферментации были обнаружены колонии энтеробактерий рода *Escherichia*: лактозоотрицательные бактерии розового оттенка (рис. 6, а) и лактозоположительные малиново-красные колонии с металлическим блеском (рис. 6, б). Был проведен экспресс-тест на обнару-

² ГОСТ 33379-2015. Удобрения органические. Методы определения наличия патогенных и условно-патогенных микроорганизмов : официальное издание. Москва : Стандартинформ, 2016. 31 с.

жение цитохромоксидазы бактерий с использованием полосок OXItest, результат теста — отрицательный. Окраска по Граму показала наличие грамотрицательных бактерий.

Таблица 4. Расчет количества колониеобразующие единиц на грамм волокна на питательных средах

Дни с момента ферментации	Температура окружающей среды, °C	ГРМ-агар, КОЕ/г	Эндо-агар, КОЕ/г
1	+23	$18 \cdot 10^{15**}$	–
10	+18	$23 \cdot 10^{20**}$	–
30	+10	$28 \cdot 10^{20**}$	–
35	+7	$18 \cdot 10^{30**}$	$7 \cdot 10^{15}$

** При $n = 20, p < 0,05$.

Источник: составлено И.Р. Курзенёвым, Т.А. Василенко.

Table 4. Colony-forming unit

Days from the moment of selection	Ambient temperature, °C	Growth medium beef-extract agar, CFU/g	Growth medium Endo agar, CFU/g
1	+23	$18 \cdot 10^{15**}$	–
10	+18	$23 \cdot 10^{20**}$	–
30	+10	$28 \cdot 10^{20**}$	–
35	+7	$18 \cdot 10^{30**}$	$7 \cdot 10^{15}$

** For $n = 20, p < 0,05$.

Source: compiled by I.R. Kurzenev, T.A. Vasilenko.

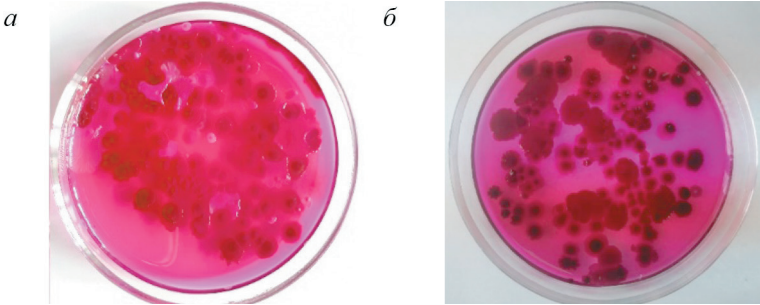


Рис. 6. Энтеробактерии рода *Escherichia*:

а — лактозоотрицательные бактерии розового оттенка; б — лактозоположительные малиново-красные колонии с металлическим блеском

Источник: фото И.Р. Курзенёва.

Figure 6. Enterobacteriaceae of the genus *Escherichia*:

а — lactose-negative bacteria of pink color; б — lactose-positive colonies of raspberry-red color with a metallic sheen.

Source: photo by I.R. Kurzenev.

Результаты исследований

Целлюлозосодержащее волокно является побочным продуктом в производстве кормовых добавок микробиологическим способом для животных. Образуется из зерновых культур после ферментации. Продукт состоит из сле-

дующих компонентов: влажность — 47,00 %; зола — 1,16 %; органическое вещество — 51,84 % (в том числе крахмал — 25,10 %; жиры — 4,40 %). В золе преобладают оксиды: кремния SiO_2 — до 51,30 %; фосфора P_2O_5 — до 17,63 %; алюминия Al_2O_3 — до 10,25 %. Содержание азота и фосфора в исследуемом образце составляет 2,43 и 1,90 %. Исследована зависимость изменения pH, влажности от времени хранения целлюлозосодержащего волокна. В процессе естественной ферментации увеличивается влажность с 47 до 76 %, а также стабилизируется значение pH с 4,22 до 7,54. Был изучен микробиоценоз путем посева водной вытяжки из образца на твердые агаризованные среды. Выявлены микроорганизмы, относящиеся к родам: *Penicillium*, *Cladosporium*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* и *Escherichia*. Количество микроорганизмов возрастает с ростом срока хранения продукта, который является биоразлагаемым и подвержен гниению. Степень негативного воздействия на окружающую среду — IV.

Список литературы

- [1] Лопата Ф.Ф. Ветеринарно-санитарная оценка органических отходов животноводства // Аграрный вестник Урала. 2008. № 2 (44). С. 72–75. EDN: IJERAB
- [2] Sun L., Liu T., Müller B., Schnürer A. The microbial community structure in industrial biogas plants influences the degradation rate of straw and cellulose in batch tests // Biotechnology for Biofuels and Bioproducts. 2016. Vol. 9. Article no. 128. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0543-9> EDN: WVNABR
- [3] Gallego-García M., Moreno A.D., González A., Negro M.J. Efficient use of discarded vegetal residues as cost-effective feedstocks for microbial oil production // Biotechnology for Biofuels. 2023. Vol. 16. Article no. 21. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02268-5>
- [4] Рафикова Г.Ф., Столярова Е.А., Мухаматдырова С.Р., Логинов О.Н. Микробиологическая переработка отходов животноводства в концентрированное органическое удобрение // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 7. С. 24–29. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-24-29> EDN: HDDXFN
- [5] Шамцян М.М., Колесников Б.А., Клепиков А.А., Касьян О.В. Биотехнологическая переработка отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности // Российский химический журнал. 2011. Т. 55. № 1. С. 17–25. EDN: NTXWHZ
- [6] Семёнова М.В., Гусаков А.В., Телицин В.Д., Синицын А.П. Ферментативная деструкция целлюлозы: особенности кинетического взаимодействия литических полисахаридмонооксигеназ и индивидуальных целлюлаз // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57. № 5. С. 477–484. EDN: DOQRDD
- [7] Литти Ю. В., Русскова Ю.И., Журавлёва Е.А., Паришина С.Н., Ковалёв А.А., Ковалёв Д.А., Ножевникова А.Н. Электрометаногенез — перспективная биотехнология анаэробной переработки органических отходов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2022. Т. 58. № 1. С. 23–43. EDN: IPOYRV
- [8] Брюханов А.Л., Хижняк Т.В. Использование сульфатредуцирующих бактерий в биоремедиации от тяжелых металлов и металлоидов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 2. С. 133–149. <http://doi.org/10.31857/S0555109923020034> EDN: LKVILK
- [9] Ильина Г.В., Сашенкова С.А., Ильин Д.Ю., Дашкина А.Р. Экологически обоснованные приемы селекционного отбора штаммов микромицетов с высокой целлюлозной активностью // Нива Поволжья. 2022. 1 (61). Article no. 1010. EDN: YYOUNH

- [10] Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М., Латыпова М.М. Исследование некоторых физико-химических показателей искусственно созданных почвосмесей // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 9. С. 27–31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-9-27-31> EDN: ZVEMHF
- [11] Ножевникова А.Н., Миронов В.В., Бочкова Е.А., Литти Ю.В., Русскова Ю.И. Состав микробного сообщества на разных стадиях компостирования, перспектива получения компоста из муниципальных органических отходов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология, 2019. Т. 55. № 3. С. 211–221. <https://doi.org/10.1134/S0555109919030103>
- [12] Saha N., Mukherjee D., Sen S., Sarkar A., Bhattacharaya K. K., Mukhopadhyay N., Patra P.K. Application of highly efficient lignocellulolytic fungi in cocomposting of paddy straw amended poultry droppings for the production of humus rich compost // Compost Science & Utilization. 2012. Vol. 20. Iss. 4. P. 239–244. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2012.10737054> EDN: KRZVAL
- [13] Akintunde M.O., Adebayo-Tayo B. C., Ishola M.M., Zamani A., Horváth, I.S. Bacterial cellulose production from agricultural residues by two *Komagataeibacter* sp. strains // Bioengineered. 2022. Vol. 13. Iss. 4. P. 10010–10025. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2062970> EDN: GVWSUP
- [14] Назарова Н.Б., Лияськина Е.В., Ревин В.В. Получение бактериальной целлюлозы при совместном культивировании *Komagataeibacter sucrofermentans* с продуцентами декстрана *Leuconostoc mesenteroides* и ксантана *Xanthomonas campestris* // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2022. № 60. С. 23–42. <https://doi.org/10.17223/19988591/60/215> EDN: BFZUBC

References

- [1] Lopata FF. Veterinary and sanitary assessment of organic waste from livestock farming. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2008;(2):72–75. (In Russ.) EDN: IJERAB
- [2] Sun L, Liu T, Müller B, Schnürer A. The microbial community structure in industrial biogas plants influences the degradation rate of straw and cellulose in batch tests. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2016;9:128. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0543-9> EDN: WVNABR
- [3] Gallego-García M, Moreno AD, González A, Negro MJ. Efficient use of discarded vegetal residues as cost-effective feedstocks for microbial oil production. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2023;16:21. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02268-5>
- [4] Rafikova GF, Stolyarova EA, Muhamatdyarova SR, Loginov ON. Microbiological processing of livestock waste into concentrated organic fertilizer. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(7):24–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-24-29> EDN: HDDXFN
- [5] Shamtsyan MM, Klepikov AA, Kolesnikov BA, Kasyan OV. Biotechnological processing of agricultural and food industry waste. *Rossiiskij Himicheskij Zhurnal*. 2011;55(1):17–25. (In Russ.) EDN: NTXWHZ
- [6] Semenova MV, Gusakov AV, Telitsin VD, Sinitsyn AP. Enzymatic destruction of cellulose: characteristics of the kinetic interaction of lytic polysaccharide monooxygenases and individual cellulases. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021;57(5):618–625. (In Russ.) EDN: TIZWGP
- [7] Litt YV, Russkova YI, Zhuravleva EA, Parshina SN, Kovalev AA, Kovalev DA, Nozhevnikova AN. Electromethanogenesis: a promising biotechnology for the anaerobic treatment of organic waste. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2022;58(1):19–36. (In Russ.) EDN: KHEFLN

- [8] Bryukhanov AL, Khijniak TV. Application of sulfate-reducing bacteria in bioremediation from heavy metals and metalloids (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2023;59(2):133–149 (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0555109923020034> EDN: LKVILK
- [9] Ilyina GV, Sashenkova SA, Ilyin DYU, Dashkina AR. Ecologically justified methods of selection of strains of micromycetes with high cellulase activity. *Volga Region Farmland*. 2022;1(12):1010. (In Russ.) EDN: GIKRWU
- [10] Pendyurin EA, Rybina SYU, Smolenskaya LM, Latypova MM. Research on some physicochemical parameters of artificially created soil mixtures. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(9):27–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-9-27-31> EDN: ZVEMHF
- [11] Nozhevnikova AN, Mironov VV, Bochkova EA, Litt YuV, Russkova YuI. Composition of the microbial community at different stages of composting, prospects for obtaining compost from municipal organic waste (review). *Applied biochemistry and microbiology*. 2019;55(3):211–221. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0555109919030103>
- [12] Saha N, Mukherjee D, Sen S, Sarkar A, Bhattacharaya KK, Mukhopadhyay N, Patra PK. Application of highly efficient lignocellulolytic fungi in cocomposting of paddy straw amended poultry droppings for the production of humus rich compost. *Compost Science & Utilization*. 2012;20(4):239–244. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2012.10737054> EDN: KRZVAL
- [13] Akintunde MO, Adebayo-Tayo BC, Ishola MM, Zamani A, Horváth IS. Bacterial cellulose production from agricultural residues by two *Komagataeibacter* sp. strains. *Bioengineered*. 2022;13(4):10010–10025. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2062970> EDN: GVWSUP
- [14] Nazarova NB, Liyaskina EV, Revin VV. The production of bacterial cellulose by co-cultivation of *Komagataeibacter sucrofermentans* with dextran producers *Leuconostoc mesenteroides* and xanthan *Xanthomonas campestris*. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2022;60:23–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.17223/19988591/60/2> EDN: BFZUBC

Сведения об авторах:

Курзенёв Иван Романович, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, Белгородская обл., ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0002-2975-8152; eLIBRARY SPIN-код: 4233-9699; AuthorID: 1078647. E-mail: spandwaryandex@gmail.com

Василенко Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, Белгородская обл., ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0003-4908-4906; eLIBRARY SPIN-код: 2911-5489; AuthorID: 755876. E-mail: land-vna78@list.ru

Bio notes:

Ivan R. Kurzenev, graduate student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod region, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2975-8152; eLIBRARY SPIN-код: 4233-9699; AuthorID: 1078647. E-mail: spandwaryandex@gmail.com

Tatyana A. Vasilenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod region, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4908-4906; eLIBRARY SPIN-код: 2911-5489; AuthorID: 755876. E-mail: land-vna78@list.ru