

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1320-1331>

УДК 664.696:634.723



Экструдированные хлебцы с зерно-черносмородиновой бардой: физико-химические и сенсорные показатели

© 2025. А. Ю. Шариков, М. В. Амеякина[✉], А. А. Голубев, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, Д. В. Поливановская, В. В. Иванов

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Российская Федерация

Актуальность разработки функциональных продуктов на основе вторичных сырьевых ресурсов обусловлена тенденциями повышения экологической и экономической эффективности пищевой отрасли. Исследована возможность включения в состав экструдированных пшеничных хлебцев зерно-черносмородиновой барды – вторичного ресурса технологии дистиллятов – в качестве ингредиента с высоким содержанием белка, пищевых волокон и фенольных соединений. Цель исследования – изучить влияние дозирования зерно-черносмородиновой барды на режимы экструзии при получении экструдированных хлебцев, физико-химические и органолептические характеристики продуктов. Смеси с содержанием до 20 % зерно-черносмородиновой барды экструдировали при температуре 155 °С, влажности 17 % при постоянной производительности и скорости вращения шнеков. В аспекте режимных параметров процесса установлено достоверное снижение давления в предматричной зоне с 4,5 до 3,5 МПа с повышением дозирования барды в рецептуре. Добавление барды снижало твердость образцов с 9,4 до 4,2–5,5 Н и повышало количество микроразломов – показателя пористости продукта – с 4,0 до 9,9. Оценка химического состава показала, что внесение до 20 % зерно-черносмородиновой барды повышает содержание белка с 12,5 до 17,1 г/100 г, пищевых волокон – с 5,3 до 11,3 г/100 г, фенольных соединений – с 216 до 558 мг/кг. Отмечено, что в процессе экструзии не происходит потери фенольных соединений, их содержание выше расчетных значений, видимо за счет деструкции высокомолекулярных форм связанных полифенолов в процессе термомеханической обработки смесей. Дегустационная панель (n = 22, пятибалльная шкала) присвоила образцу с 10 % барды наилучшие оценки вкуса (4,4), текстуры (4,3) и общего вида (4,6); при 20 % фиксировалось усиление горечи (3,9). Добавление порядка 10 % зерно-черносмородиновой барды обеспечивает получение хрустящих хлебцев, обогащенных белком, пищевыми волокнами и антиоксидантами, без ухудшения потребительских свойств, что открывает перспективы их использования в рационах здорового питания.

Ключевые слова: утилизация вторичных ресурсов, дистиллят, пшеница, ягодное сырье, термомеханическая обработка, белок, пищевые волокна, фенольные соединения

Благодарности: исследования проведены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (тема № FGMP-2023-0004)

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Шариков А. Ю., Амеякина М. В., Голубев А. А., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Иванов В. В. Экструдированные хлебцы с зерно-черносмородиновой бардой: физико-химические и сенсорные показатели. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1320–1331. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1320-1331>

Поступила: 08.07.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025

Extruded crispbreads with grain-blackcurrant distillers' stillage: the physicochemical and sensory indicators

© 2025. Anton Yu. Sharikov, Maria V. Amelyakina✉, Alexey A. Golubev, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov, Daria V. Polivanovskaya, Viktor V. Ivanov
All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

The relevance of developing functional products based on secondary raw materials is due to trends in increasing the environmental and economic efficiency of the food industry. The possibility of including grain-blackcurrant distillers' stillage in the composition of extruded crispbreads based on wheat flour as an ingredient with a high content of protein, dietary fibers and phenolic compounds was studied. The aim of the research was to study the effect of the dosage of grain-blackcurrant stillage on the extrusion modes in obtaining extruded crispbreads, the physicochemical and organoleptic characteristics of the products. Mixtures containing up to 20 % grain-blackcurrant stillage were extruded at 155 °C, 17 % moisture content, and constant productivity and screws speed. In terms of process parameters, a reliable decrease in pressure in the pre-matrix zone was found from 4.5 to 3.5 MPa with an increase in the dosage of stillage in the recipe. Adding stillage reduced the hardness of the samples from 9.4 to 4.2–5.5 N and increased the number of microfractures, the product porosity index, from 4.0 to 9.9. Evaluation of the chemical composition showed that the addition of up to 20 % grain-blackcurrant stillage increases the protein content from 12.5 to 17.1 g/100 g, dietary fiber from 5.3 to 11.3 g/100 g, and phenolic compounds from 216 to 558 mg/kg. It was noted that there was no loss of phenolic compounds during the extrusion process; their content in the crispbreads exceeded the calculated values, apparently due to the destruction of high-molecular forms of bound polyphenols during thermomechanical treatment of the mixtures. The tasting panel (n = 22, five-point scale) assigned the sample with 10 % stillage the best ratings for taste (4.4), texture (4.3) and general appearance (4.6); at 20 %, an increase in bitterness was recorded (3.9). The addition of about 10 % grain-blackcurrant stillage ensures the production of crispbreads enriched with protein, dietary fiber and antioxidants, without deterioration of consumer properties, which opens up prospects for their use in healthy diets.

Keywords: recycling of by-products, distillate, wheat, berry raw materials, thermomechanical processing, protein, dietary fiber, phenolic compounds

Acknowledgments: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (theme No. FGMF-2023-0004).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests

For citation: Sharikov A. Yu., Amelyakina M. V., Golubev A. A., Sokolova E. N., Ionov V. V., Polivanovskaya D. V., Ivanov V. V. Extruded crispbreads with grain-blackcurrant distillers' stillage: the physicochemical and sensory indicators. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(6):1320–1331. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1320-1331>

Received: 08.07.2025

Accepted for publication: 05.12.2025

Published online: 26.12.2025

В условиях современных требований к экологической и ресурсной устойчивости агропромышленного комплекса возрастает значение технологий, ориентированных на комплексную переработку растительного сырья и эффективное использование побочных продуктов пищевых производств. Особое место в этом контексте занимают спиртовые и дистилляционные технологии, в которых перерабатываются разнообразные плодово-ягодные культуры. В настоящее время в России развиваются технологии дистилляции с расширением ресурсной базы сбраживаемых субстратов. Перспективность использования ягод, в том числе черной смородины (*Ribes nigrum* L.), для получения дистиллятов обоснована не только с позиций органолептики, но и высокой концентрацией биологически активных веществ, что делает возможным создание многопродуктовых биотехнологических схем с получением ценных вторичных продуктов [1, 2].

Процессы спиртового брожения с использованием плодово-ягодного сырья традиционно применяются в различных регионах Европы и Азии. Так, в Восточной Европе активно развита культура производства дистиллятов из сливы, вишни, черешни, винограда, в последнее время из черной смородины, рябины и брусники [3, 4]. Брожение на основе фруктов отличается более сложным составом летучих компонентов, что придаёт дистиллятам особые сенсорные характеристики. Среди прочего, это объясняется содержанием в ягодах соединений, способных участвовать в ароматогенезе при сбраживании: терпенов, фенольных соединений, кислот, эфирных масел [5].

Современные исследования подтверждают, что черная смородина — эффективное сырьё для получения оригинальных спиртных и ферментированных напитков [1, 3, 4, 6, 7]. Ферментативная обработка (с использованием пектиназ и целлюлаз) позволяет повысить

извлечение растворимых биокomпонентов, улучшая выход функциональных фракций в жидкую фазу.

В традиционных технологиях выделения сока фруктовые и ягодные жмыхи содержат высокое количество остаточных полифенолов исходного сырья, а также пищевые волокна, органические кислоты, сахара и белковые соединения [8, 9]. Они могут рассматриваться как высокопитательный ингредиент, обогащающий рецептуры пищевых продуктов пищевыми волокнами и антиоксидантами [10]. Введение подобных компонентов в пищевые матрицы позволяет достичь синергетического эффекта: улучшение нутриентного состава при сохранении сенсорных свойств. Например, введение в рецептуру безглютенового печенья всего 3,75 % порошка жмыха черной смородины позволило повысить общее количество фенольных соединений и антиоксидантную активность на 62 и 70 % соответственно [11]. Биохимический состав таких функциональных ингредиентов зависит от исходного сырья, способов и режимов переработки. Отходы переработки черной смородины сохраняют значительное количество антоцианов (особенно цианидин-3-рутинозида), хлорогеновой и кофейной кислот, катехинов и флавонолов [12].

Одним из перспективных направлений утилизации отходов переработки ягод является их использование в качестве компонента экструдированных продуктов. Технология экструзии обеспечивает быструю термомеханическую обработку, в результате которой получают продукты различной формы, текстуры и ситуации потребления – снеки, сухие завтраки, хлебцы и безглютеновые изделия, продукты быстрого приготовления [13, 14]. Введение в рецептуру вторичных сырьевых ресурсов позволяет существенно повысить пищевую ценность экструдатов [14, 15]. Использование порошка черносмородинового жмыха в экструдированной смеси увеличило содержание фенольных соединений в 4 раза, пищевых волокон – с 0,95 до 10,32 г/100 г сухого вещества, улучшились цветовые характеристики продукта за счёт натуральной антоциановой окраски [16]. В ряде экспериментов экструзия смесей кукурузной или рисовой муки с добавлением до 10 % жмыха из черной

смородины привела к получению продуктов с улучшенными показателями текстуры, низким содержанием жира и высоким уровнем антиоксидантов [13].

Аналогично в технологии дистилляции с использованием плодово-ягодного сырья образуется значительный объем вторичных продуктов – барды. Традиционно такие отходы часто подвергаются механической утилизации, компостированию или скармливаются. После-спиртовая барда в контексте разработки технологий дистиллятов из фруктовых, ягодных субстратов, их смесей с зерновыми представляет собой ценное функциональное сырьё [17, 18]. Внедрение её в технологии экструзии позволит не только утилизировать отходы производства, но и создать научный задел для разработки продуктов с высоким уровнем пищевой ценности. Это соответствует современным трендам устойчивого пищевого производства и функционального питания.

Цель исследования – изучить влияние дозировок зерно-черносмородиновой барды на режимы экструзии при получении экструдированных хлебцев, физико-химические, нутрициологические и органолептические характеристики продуктов.

Научная новизна – обоснована технологическая применимость зерно-черносмородиновой барды как функционального ингредиента для технологии экструзии, показано влияние дозировок барды на ключевые режимные параметры экструзии, структурно-механические свойства экструдатов и изменение их пищевой ценности. Установлено, что термомеханическая обработка в случае переработки продуктов биоконверсии ягод смородины повышает долю извлекаемых форм полифенольных соединений за счет деструкции связанных компонентов. Верифицирована согласованность инструментальных показателей текстуры с сенсорной оценкой и обоснован рецептурно-технологический диапазон, обеспечивающий баланс пищевой ценности и потребительских свойств.

Материалы и методы. В качестве основы для экструдированной смеси использовали пшеничную обойную муку по ГОСТ 26574-2017¹.

¹ГОСТ 26574-2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2018. 16 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742186.pdf>

Барда зерно-черносмородиновая была получена как вторичный ресурс технологии дистиллята. Помол пшеницы при гидромодуле 1,0:2,5 обрабатывали ферментными препаратами термостабильной альфа-амилазы и ксиланазы в дозировке 1,0 и 0,5 ед./г крахмала соответственно. После варки в течение 3 часов при температуре 85–90 °С затор охлаждали до 58–60 °С и вносили черносмородиновый жмых, который предварительно подщелачивали 30%-й щелочью до pH 4,5, обрабатывали ксиланазой (0,6 ед. КС/г крахмала) и пастеризовали в суховоздушном термостате 1 час при 68–70 °С. Соотношение в сусле зерна и черносмородинового жмыха составляло 70 и 30 %, соответственно. Далее 1 час проводили осахаривание с использованием ферментных препаратов глюкоамилазы 15 ед. ГлС/г крахмала, грибной альфа-амилазы 1 ед. АС/г крахмала, кислой протеазы 0,5 ед. ПС/г крахмала. В охлажденное до 35 °С сусло добавляли антисептик, дрожжи 10–15 млн/мл и проводили сбраживание при температуре 28–30 °С в течение 72 часов. После сбраживания в процессе получения дистиллята на первой стадии перегонки осуществляли процесс извлечения спирта и всех сопутствующих летучих примесей из бражки с получением промежуточного продукта – дистиллята неочищенного. Для реализации указанного процесса использовали вакуумную кубовую установку, температура паров в начале дистилляции составляла 32 °С, в конце – 44 °С. Глубина вакуума до 93 кПа, температура охлаждающей воды – 7 °С [19, 20, 21].

Полученную барду после отгона высушивали и добавляли в пшеничную муку обойную в количестве до 20 %, в смесь добавляли соль – 0,5 %.

Экструдирование осуществляли с использованием двухшнекового экструдера Werner & Phleiderer 37 через матрицу с формующим отверстием прямоугольного сечения 25 мм шириной, 1,1 мм высотой. Стренг экструдата нарезался на хлебцы режуще-тянущим устройством СР-150.

Коэффициент вертикального расширения стренга определяли как соотношение толщины

стренга, выходящего из фильеры, к высоте формирующей щели матрицы.

При определении структурных свойств продукта использовали анализатор Brookfield CT3 Texture Analyser. На прибор устанавливали металлическую насадку-индентор в виде иглы. В образец продукта погружали насадку-индентор на глубину прокола 4 мм со скоростью погружения насадки 0,5 мм/с и фиксировали ответную реакцию тензодатчика прибора в виде структурно-механических характеристик: твердости образца и количества микро-разломов [22].

Анализ содержания белка осуществляли методом Кьельдаля на автоматической установке для определения азота Gerhardt Vadopest 10 с использованием автоматического титратора Mettler Toledo DL 15. Содержание пищевых волокон определяли ферментативно-гравиметрическим методом по ГОСТ Р 54014-2010². Содержание фенольных соединений определяли спектрофотометрически с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата, реактива Фолина-Чокальтеу и спектрофотометра Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм.

Дегустационная панель включала 22 дегустатора, для которых были разработаны дескрипторы, описывающие следующие характеристики продукции: общий внешний вид, цвет, вкус, текстура, наличие горечи в послевкусии. Каждый дескриптор оценивался по 5-балльной гедонистической шкале, где максимальному значению соответствовали наиболее привлекательные для дегустатора признаки. Сенсорную оценку проводили методом закрытой дегустации (слепого тестирования): образцы предварительно кодировали случайными числами, исключив любую информацию, позволяющую дегустаторам идентифицировать состав продукта.

Метод однофакторного дисперсионного анализа и апостериорный анализ по критерию Тьюки³ с применением пакета программ Statistica 6.0 использовали для оценки достоверности различия средних при $p < 0,05$. Применяли метод корреляционного анализа с вычислением коэффициента корреляции Пирсона r^4 .

²ГОСТ Р 54014-2010. Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. М.: Стандартинформ. 2011. 12 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293805/4293805188.pdf>

³Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 10th ed. Wiley. Hoboken. NJ. USA, 2020. pp. 85–88.

⁴Ксензенко Л. С., Бойко Л. А., Шишкин А. В. Элементы теории корреляции: учебное пособие для вузов. Владивосток: Дальневосточный ФУ, 2025. 71 с.

Результаты и их обсуждение. Смеси с разным содержанием высушенной зерно-черносмородиновой барды экструдировали при фиксированных значениях производительности, скорости вращения шнеков и влагосодержания в политропном режиме. В таблице 1 представлено влияние дозировок барды на зависимые режимные параметры экструзии: температуру, давление и момент сдвиговых

деформаций. В соответствии с представленными данными, внесение и увеличение дозировки зерно-черносмородиновой барды не оказывали значимого влияния на изменение температуры процесса и момент сдвиговых деформаций, при этом значимо снижалось давление в предматричной зоне с 4,5 до 3,5 МПа, что, вероятно, связано с изменением вязкоэластических свойств смеси.

Таблица 1 – Влияние дозировок зерно-черносмородиновой барды на режимные параметры экструзии зерновых смесей /
Table 1 – The influence of grain-blackcurrant stillage dosages on the extrusion parameters of grain mixtures

Дозировка % / Dosage, %	Влажность смеси, % / Moisture content, %	Температура экструзии, °C / Temperature of extrusion, °C	Давление, Мпа / Pressure, MPa	Момент сдвиговых деформаций, % / Torque, %
0 – контроль / control	17	157±2 ^a	4,5±0,2	41±2 ^a
5	17	155±1 ^a	4,0±0,1 ^a	40±2 ^a
10	17	155±1 ^a	4,0±0,1 ^a	40±1 ^a
15	17	155±1 ^a	3,5±0,1 ^b	38±2 ^a
20	17	155±1 ^a	3,5±0,1 ^b	40±1 ^a

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждом столбце статистически незначимы при $p>0,05$ /
Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p>0.05$

Экструдирование всех смесей осуществлялось стабильно. Такие режимы экструзии обеспечили полноценную клейстеризацию крахмала без признаков пригорания или локального потемнения экструдата. На рисунке 1 представлены фотографии полученных экструзи-

рованных хлебцев с добавлением зерно-черносмородиновой барды. По фотографиям видно, что увеличение дозировки значительно изменяет цвет продукта, что обусловлено введением в состав экструдированной смеси антоциановых пигментов черной смородины.

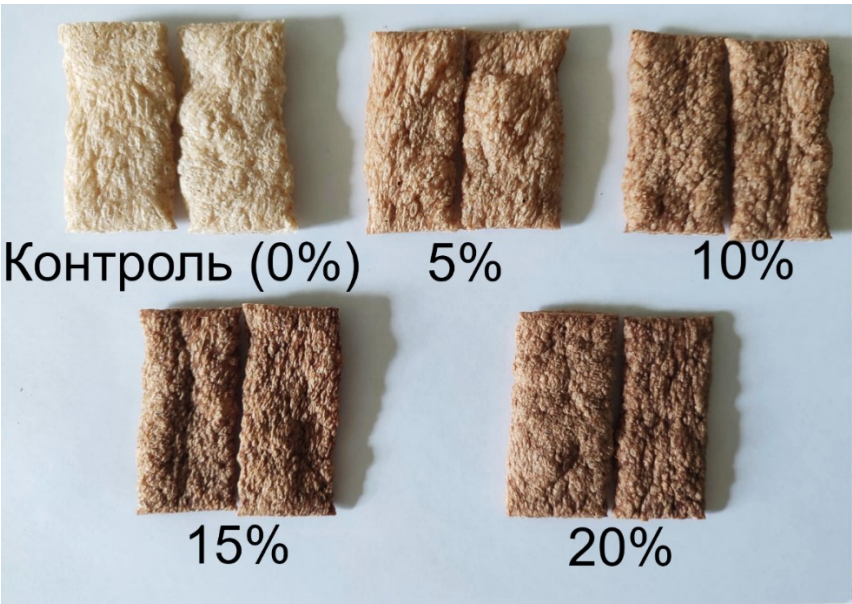
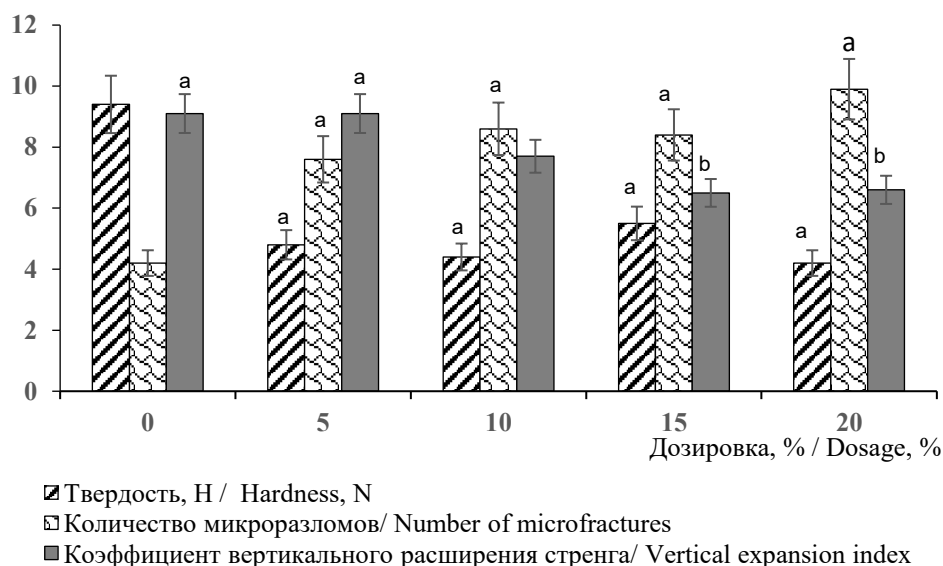


Рис. 1. Внешний вид хлебцев с добавлением зерно-черносмородиновой барды в разных дозировках /
Fig. 1. Crispbreads with the addition of grain-blackcurrant stillage in different dosages

На рисунке 2 представлены данные о влиянии дозировки зерно-черносмородиновой барды на физические характеристики полученных хлебцев. По показателю твердости отмечается выраженное снижение значений по сравнению с контролем – от 9,4 Н до 4,2–5,5 Н. Это указывает на размягчение структуры экструдатов под действием введенной добавки, которая содержит значительное количество нерастворимых пищевых волокон, лигнина и других балластных компонентов. Это может объясняться тем, что в процессе экструзии не происходит гелеобразования данных компонентов, и они частично дезорганизуют структуру крахмального расплава. В результате формируется менее монолитная, пористая и рыхлая структура, требующая меньшего усилия для дефор-

мации, что и фиксировалось как снижение твердости. При этом статистически достоверного различия ($p < 0,05$) твердости образцов с увеличением содержания барды не установлено.

Зерно-черносмородиновая барда вносит большое количество жестких растительных включений (клеточные оболочки, кожура, семенные оболочки), которые действуют как механические дефекты в структуре экструдата, кроме того, подобные частички выступают как центры парообразования при формировании пористой структуры экструдата при падении давления с предматричных значений до атмосферного. Эти факторы влияют на повышение количества микроразломов в структуре экструдата с 4,2 до 8,2–9,9, т. е. более чем в 2 раза, что свидетельствует о повышении хрупкости продуктов.



Примечание: Различия между значениями показателей, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, статистически незначимы при $p > 0,05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p > 0.05$

Рис. 2. Влияние дозровок зерно-черносмородиновой барды на структурно-механические характеристики экструдатов /

Fig. 2. The influence of grain-blackcurrant stillage dosages on the structural and mechanical characteristics of extrudates

По мере увеличения содержания барды с 0–5 до 15–20 % наблюдали снижение коэффициента вертикального расширения образцов – с 9,1 до 6,5–6,6. Это указывает на ухудшение способности к расширению экструдированного расплава, что является типичным следствием введения компонентов с высоким содержанием пищевых волокон. При этом можно отметить прямую корреляционную связь ($r = 0,89$) между снижением давления в предматричной зоне

и соответствующим снижением коэффициента вертикального расширения.

В совокупности полученные данные указывают, что добавление зерно-черносмородиновой барды оказывает смягчающее влияние на структуру экструдатов, снижает их способность к расширению и увеличивает хрупкость поверхности. Эти изменения важно учитывать при разработке рецептур с заданными текстурными характеристиками.

В таблице 2 представлены изменения пищевой и химической ценности экструдатов в зависимости от дозировки барды. С увеличением её содержания до 20 % отмечается достоверный рост массовой доли белка (с 12,5 до 17,1 г/100 г) и пищевых волокон (с 5,3 до 11,3 г/100 г), что свидетельствует об обогащении продукта функциональными нутриентами. В соответствии с ГОСТ Р 55577–2013⁵ введение в рецептуру более 5 % барды обеспечивает

соответствие критерию вынесения на этикеточную надпись признака «продукт с высоким содержанием пищевых волокон» (более 6 г/100 г продукта). Зерно-черносмородиновая барда характеризуется высоким содержанием фенольных соединений 1368,9 мг/кг, и с ростом дозировки в рецептуре отмечается достоверное увеличение их содержания, что указывает на эффективность применения барды как источника биологически активных веществ.

Таблица 2 – Содержание нутриентов в экструдированных хлебцах в зависимости от дозировок зерно-черносмородиновой барды /

Table 2 – Nutrient content in extruded crispbreads depending on the dosage of grain-blackcurrant stillage

Дозировка, % / Dosage, %	Белок, г/100 г / Protein, g/100 g	Пищевые волокна, г/100 г / Dietary fibers, g/100 g	Фенольные вещества, мг/кг / Phenolic compounds, mg/kg
0 – контроль / control	12,5±0,6 ^a	5,3±0,2	216,0±10,3
5	12,6±0,6 ^a	7,5±0,3	275,0±13,8
10	13,7±0,7 ^{ab}	9,2±0,4	350,5±17,5
15	15,2±0,9 ^{bc}	10,5±0,5 ^a	447,3±22,3
20	17,1±1,1 ^c	11,3±0,6 ^a	558,0±26,8

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждом столбце статистически незначимы при $p < 0.05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$

При этом установлено, что экструзия не оказывает негативного влияния на содержание фенольных соединений и не ведет к их потери. Более того, на рисунке 3 представлены графики увеличения фенольных соединений согласно экспериментальным данным и расчетные значения относительно контроля и содержания фенольных соединений в неэкструдированной зерно-черносмородиновой барде. Можно отметить, что с ростом дозировки барды наблюдается увеличение содержания фенольных соединений относительно расчетных или ожидаемых значений до 19 %. Сохранность и стабильность фенольных соединений в процессе экструзии зависит от комплекса факторов, включая ботаническое происхождение сырья, степень его переработки, конструктивные характеристики экструзионного оборудования и режимные параметры [23]. Комплексная переработка жмыха черной смородины в технологии дистиллятов с использованием ферментных препаратов на стадии подготовки суслу, по-видимому, способствует деструкции высокомоле-

кулярных форм связанных полифенолов. Этот эффект усиливается высокотемпературной экструзией, что в совокупности приводит к значительному увеличению степени экстрагируемости фенольных соединений.

Полученные данные свидетельствуют о возможности использования черносмородиновой барды в качестве компонента, повышающего функциональную ценность экструдированных продуктов за счёт полифенольных соединений.

На рисунке 4 представлены результаты сенсорной оценки экструдированных хлебцев по пятибалльной шкале с различным содержанием зерно-черносмородиновой барды по следующим показателям: общий внешний вид, цвет, вкус, текстура и наличие горечи в послевкусии. Показатели общего внешнего вида демонстрируют стабильные значения (4,4–4,6 балла) независимо от дозировки барды. Это указывает на то, что добавление компонента не оказывает отрицательного влияния на визуальную привлекательность продукта. Цвет также сохраняется

⁵ГОСТ Р 55577–2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. М.: Стандартинформ. 2014. 24 с.

URL: https://roskachestvo.gov.ru/upload/functional-products/GOST_producty_pischevie_specializirovannie.pdf

на высоком уровне во всех образцах (4,4–4,6 балла), что может свидетельствовать о равномерном распределении пигментов черной смородины в матрице и отсутствии признаков термического повреждения в процессе экструзии. Наибольшее улучшение вкуса отмечено при внесении 10 % барды (4,4 балла), что вероятно связано с оптимальным соотношением между

сладостью, кислотностью и характерными ягодными нотами. При более низких (5 %) и более высоких (15–20 %) дозировках оценки вкуса снижаются до 3,8 и 3,9–4,1 соответственно, что может указывать на дисбаланс вкусовых характеристик — либо избыточную терпкость, либо упрощение вкусового профиля.

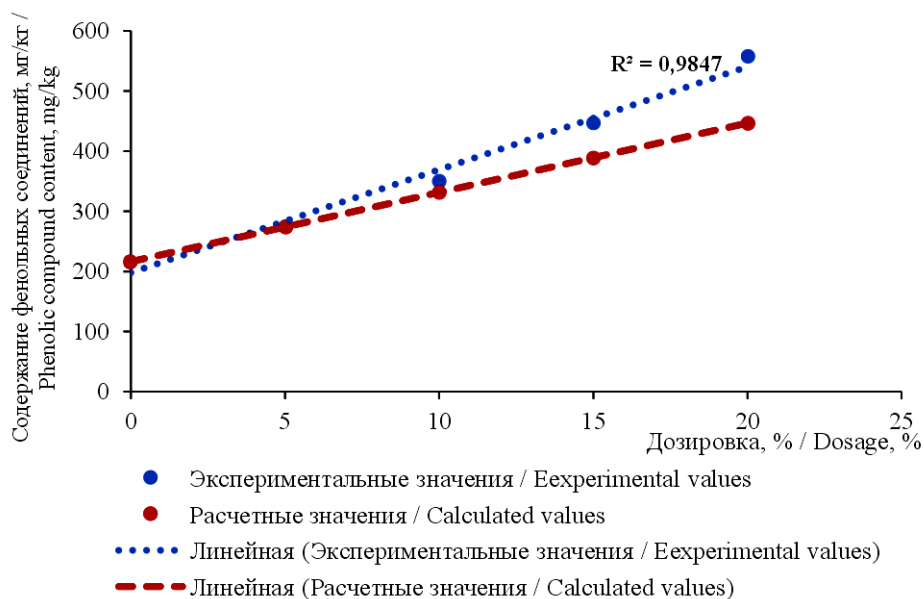


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных значений содержания фенольных соединений в экструдированных хлебцах в зависимости от дозировок зерно-черносмородиновой барды /

Fig.3. Comparison of experimental and calculated values of the content of phenolic compounds in extruded crispbreads depending on the dosage of grain-blackcurrant stillage

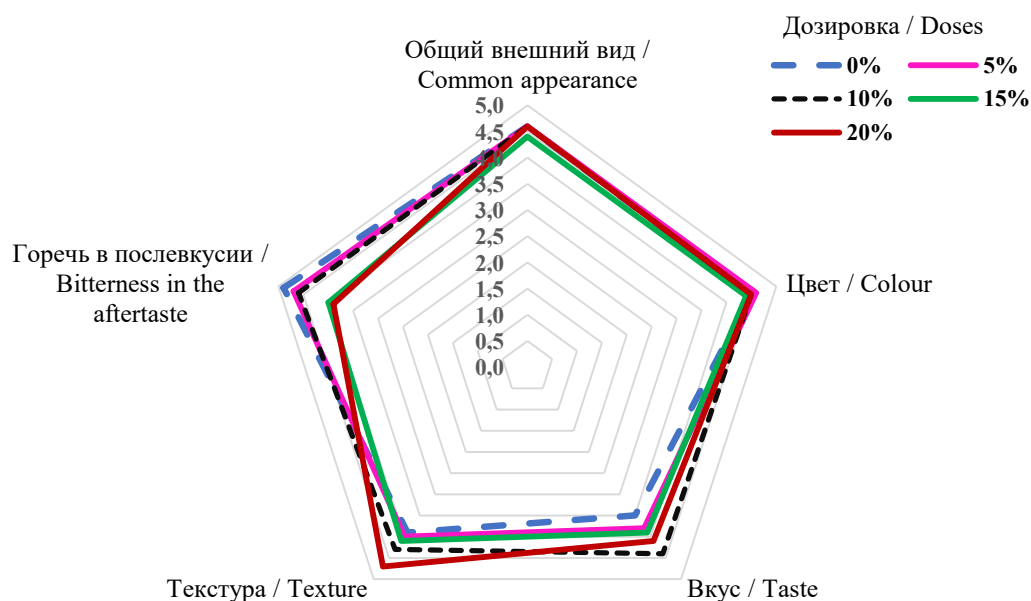


Рис. 4. Сенсорная оценка пшеничных хлебцев с различными дозировками зерно-черносмородиновой барды /

Fig. 4. Sensory evaluation of wheat crispbreads with different doses of grain-blackcurrant stillage

Оценка текстуры возрастает от 3,9 (контрольный образец) до 4,7 при 20 % барды и отражает улучшение хрустящих характеристик, что коррелирует с показателями инструментальной оценки. Горечь в послевкусии демонстрирует отчётливую отрицательную динамику: от 4,9 (контроль) до 3,9 (20 %), что свидетельствует о нарастании горечи при увеличении доли черносмородиновой барды. Причиной может служить присутствие полифенолов (в частности, танинов) и других горьких соединений, концентрирующихся в барде после переработки жмыха ягод. Оптимальной, с точки зрения вкусовой и текстурной сбалансированности, является дозировка 10 % барды: наивысший балл по вкусу (4,4), улучшенная текстура (4,3) и сохранение визуальной привлекательности. При 20 % барды наблюдается улучшение текстуры, но усиливается горечь в послевкусии, что может снизить привлекательность продукта для потребителей. Добавка барды в количестве до 15 % может считаться приемлемой по комплексу сенсорных характеристик без выраженного ухудшения.

Заключение. Рациональная утилизация вторичных ресурсов пищевой промышленности является ключевым условием развития безотходных технологий, а с учетом химического состава этих ресурсов способствует снижению стоимости ингредиентов для рынка функциональных продуктов. Зерно-черносмородиновая барда, образующаяся после получения дистиллятов, содержит высокое количество пищевых волокон, белка и фенольных соединений. Включение этого ингредиента в массовые продукты, такие как экструдированные хлебцы из пшеничной муки, позволяет одновременно решить задачу утилизации

и обогащения рациона биологически активными веществами.

В ходе исследования обоснована технологическая применимость зерно-черносмородиновой барды как функционального ингредиента для получения экструдированных хлебцев. Введение вторичного сырья в экструдированную смесь на основе пшеничной муки не оказывало негативного влияния на режимы экструзии. Установлены снижение твёрдости хлебцев, значительный рост количества микроразломов как характеристики хрусткости продукта, уменьшение коэффициента вертикального расширения. С точки зрения пищевой ценности, в образцах с 5–20 % барды отмечено заметное обогащение хлебцев пищевыми волокнами до 7,5–11,3 г/100 г и белком до 12,6–17,1 г/100 г продукта. Отмечается отсутствие потери фенольных соединений в процессе экструзии. Сенсорная оценка подтвердила высокий уровень характеристик продукта: рациональным является содержание барды 10 %, при котором хлебцы получили максимальные оценки за вкус (4,4 из 5) и текстуру (4,3), сочетая при этом сбалансированный вкус и хрустящую консистенцию. Увеличение доли барды до 20 % сопровождалось нарастанием горечи в послевкусии (оценка падает до 3,9), что может потребовать корректировки рецептуры (добавки подсластителей или регуляторов кислотности) при стремлении к ещё большему обогащению.

Полученные результаты демонстрируют экологическую, технологическую и диетологическую целесообразность их промышленной апробации на линиях производства экструдированных продуктов и подтверждают потенциал зерно-черносмородиновой барды как ценного функционального ингредиента.

Список литературы

1. Римарева Л. В., Сербя Е. М., Соколова Е. Н., Игнатова Н. И., Фурсова Н. А. К вопросу о целесообразности использования ягод черной смородины для получения оригинальных зерно-фруктовых дистиллятов. Пищевая промышленность. 2023;(5):61–63. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.017> EDN: YQKFEI
2. Соколова Е. Н., Курбатова Е. И., Борщева Ю. А., Римарева Л. В., Сербя Е. М. Биотехнология получения напитков с повышенным содержанием биологически ценных компонентов на основе ферментализованных растительного сырья. Пищевая промышленность. 2019;(4):95–97. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10049> EDN: WQVDXT
3. Šimonėlienė A. Distillate composition from fermented black currant, aronia, rhubarb, apple, and raspberry wines. Mokslas taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose. 2023;19(1):246–252. DOI: <https://doi.org/10.59476/mtt.v1i19.593>
4. González E. A., González E. A., Agrasar A. T., Pastrana Castro L. M., Fernández I. O., Guerra N. P. Production and Characterization of Distilled Alcoholic Beverages Obtained by Solid-State Fermentation of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010;58(4):2529–2535. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9037562>
5. Kelanne N., Yang B., Liljenbäck L., Laaksonen O. Phenolic compound profiles in black currant beverages fermented with yeasts. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020;68(37):10128–10141. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03354>
6. Patelski A. M., Dziekońska-Kubczak U., Ditych M. The fermentation of orange and black currant juices by the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. Applied Sciences. 2024;14(7):3009. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14073009>

7. Wang Z., Svyantek A., Miller Z., Watrelot A. A. Assessment of Sequential Yeast Inoculation for Blackcurrant Wine Fermentation. *Fermentation*. 2024;10(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10040184>
8. Dumitrașcu L., Patrascu L., Banu I., Ina V. The influence of processing on bioactive compounds of berries. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8713. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198713>
9. Drosou C., Kyriakopoulou K., Bimpilas A., Tsimogiannis D., Krokida M. A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts. *Industrial Crops and Products*. 2015;75(Part B):141–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.063>
10. Denev P., Kratchanova M., Číž M., Lojek A., Vašíček O., Nedelcheva P. et al. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health. *Food Chemistry*. 2014;157:37–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.022>
11. Gagnet M., Archain D. A., Salas M. P., Leiva G. E., Salvatori D. M., Schebor C. Gluten-free cookies added with fibre and bioactive compounds from blackcurrant residue. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021;56(4):1734–1740. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14798>
12. Reißner A. M., Brunner M., Struck S., Rohm H. Thermo-mechanical processing of fibre-rich blackcurrant pomace to modify techno-functional properties. *European Food Research and Technology*. 2022;248:2359–2368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04052-5>
13. Soja J., Combrzyński M., Oniszcuk T., Gancarz M., Oniszcuk A. Extrusion-Cooking Aspects and Physical Characteristics of Snacks Pellets with Addition of Selected Plant Pomace. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8754. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198754>
14. Шариков А. Ю., Иванов В. В., Амелякина М. В., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Серб Е. М. Влияние влаго-содержания на режимы экструзии и физико-химические показатели экструдатов с добавлением ферментализата жмыха аронии черноплодной. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024;(3):66–71. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724030135> EDN: FUSMDX
15. Wang S., Gu B. J., Ganjyal G. M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates. *LWT*. 2019;110:223–230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.094>
16. Gumul D., Berski W., Zięba T. The Influence of Fruit Pomes on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks. *Applied Sciences*. 2023;13(8):4818. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13084818>
17. Серб Е. М., Игнатова Н. И., Соколова Е. Н., Микуляк А. А., Римарева Л. В. Обоснование перспективы использования плодово-ягодного сырья в производстве оригинальных дистиллятов. *Вопросы питания*. 2023;92(S5(549)):256–257.
18. Никитенко В. Д., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Леденев В. П., Кононенко В. В., Абрамова И. М. Сравнительное исследование различных спиртовых дрожжей для улучшения технологических и органолептических характеристик зерно-яблочных дистиллятов. *Крахмал и его производные*. 2024;(3(5)):12–16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=75186694> EDN: HROILS
19. Кириллов Е. А., Никитенко В. Д., Туршатов М. В., Кононенко В. В., Соловьев А. О. Исследования по получению дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья на аппаратах периодического действия. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2024;86(3):89–95. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-3-89-95> EDN: HSYMPL
20. Соловьев А. О., Туршатов М. В., Кононенко В. В., Погоржельская Н. С., Павленко С. В. Переработка клубней топинамбура в дистилляты для производства оригинальных спиртных напитков. *Индустрия питания*. 2022;7(4):36–43. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-4-4> EDN: BAATPN
21. Алексеев В. В., Кириллов Е. А., Туршатов М. В., Соловьев А. О. Дистилляционные аппараты с элементами ректификационных колонн. Теоретические и практические аспекты развития спиртовой и ликероводочной промышленности: сб. научн. тр. по мат-лам Междунаро-дн. научн.-практ. семинара. М.: ООО «Первое экономическое изд-во», 2022. С. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785912924460.24-30> EDN: KWYYDQ
22. Шариков А. Ю., Степанов В. И. Инструментальные методы исследования текстуры экструдированных продуктов. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2015;(5(34)):3–9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24340847> EDN: UMQXSF
23. Šárka E., Sluková M., Henke S. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods*. 2021;10(9):2100. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092100>

References

1. Rimareva L. V., Serba E. M., Sokolova E. N., Ignatova N. I., Fursova N. A. On the question of the expediency of using black currant berries to obtain original grain-fruit distillates. *Pishchevaya promishlennost' = Food Industry*. 2023;(5):61–63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.017>
2. Sokolova E. N., Kurbatova E. I., Borshcheva Yu. A., Rimareva L. V., Serba E. M. Biotechnology for producing beverages with a high content of biologically valuable components based on fermentolysates of plant raw materials. *Pishchevaya promishlennost' = Food Industry*. 2019;(4):95–97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10049>
3. Šimonėlienė A. Distillate composition from fermented black currant, aronia, rhubarb, apple, and raspberry wines. *Mokslas taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose*. 2023;19(1):246–252. DOI: <https://doi.org/10.59476/mtt.v1i19.593>
4. González E. A., González E. A., Agrasar A. T., Pastrana Castro L. M., Fernández I. O., Guerra N. P. Production and Characterization of Distilled Alcoholic Beverages Obtained by Solid-State Fermentation of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58(4):2529–2535. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9037562>

5. Kelanne N., Yang B., Liljenbäck L., Laaksonen O. Phenolic compound profiles in black currant beverages fermented with yeasts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(37):10128–10141. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c03354>
6. Patelski A. M., Dziekońska-Kubczak U., Ditrych M. The fermentation of orange and black currant juices by the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Applied Sciences*. 2024;14(7):3009. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14073009>
7. Wang Z., Svyantek A., Miller Z., Watrelot A. A. Assessment of Sequential Yeast Inoculation for Blackcurrant Wine Fermentation. *Fermentation*. 2024;10(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10040184>
8. Dumitrașcu L., Patrascu L., Banu I., Ina V. The influence of processing on bioactive compounds of berries. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8713. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198713>
9. Drosou C., Kyriakopoulou K., Bimpilas A., Tsimogiannis D., Krokida M. A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts. *Industrial Crops and Products*. 2015;75(Part B):141–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.063>
10. Denev P., Kratchanova M., Číž M., Lojek A., Vašíček O., Nedelcheva P. et al. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health. *Food Chemistry*. 2014;157:37–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.022>
11. Gagnet M., Archain D. A., Salas M. P., Leiva G. E., Salvatori D. M., Schebor C. Gluten-free cookies added with fibre and bioactive compounds from blackcurrant residue. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021;56(4):1734–1740. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14798>
12. Reißner A. M., Brunner M., Struck S., Rohm H. Thermo-mechanical processing of fibre-rich blackcurrant pomace to modify techno-functional properties. *European Food Research and Technology*. 2022;248:2359–2368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04052-5>
13. Soja J., Combrzyński M., Oniszcuk T., Gancarz M., Oniszcuk A. Extrusion-Cooking Aspects and Physical Characteristics of Snacks Pellets with Addition of Selected Plant Pomace. *Applied Sciences*. 2024;14(19):8754. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198754>
14. Sharikov A. Yu., Ivanov V. V., Amelyakina M. V., Sokolova E. N., Ionov V. V., Serba E. M. The influence of moisture content on extrusion modes and physicochemical parameters of extrudates with the addition of chokeberry pomace hydrolysate. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences*. 2024;(3):66–71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724030135>
15. Wang S., Gu B. J., Ganjyal G. M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates. *LWT*. 2019;110:223–230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.094>
16. Gumul D., Berski W., Zięba T. The Influence of Fruit Pomaces on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks. *Applied Sciences*. 2023;13(8):4818. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13084818>
17. Serba E. M., Ignatova N. I., Sokolova E. N., Mikulyak A. A., Rimareva L. V. Substantiation of the prospects of using fruit and berry raw materials in the production of original distillates. *Voprosi pitaniya = Problems of Nutrition*. 2023;92(S5(549)):256–257. (In Russ.).
18. Nikitenko V. D., Turshatov M. V., Solovov A. O., Ledenev V. P., Kononenko V. V., Abramova I. M. Comparative study of various alcoholic yeasts to improve the technological and organoleptic characteristics of grain-apple distillates. *Krakhmal i ego proizvodnie = Starch and its Derivatives*. 2024;(3(5)):12–16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=75186694>
19. Kirillov E. A., Nikitenko V. D., Turshatov M. V., Kononenko V. V., Solovyev A. O. Research on the obtaining of distillates from fermented grain and fruit raw materials using periodic devices. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernikh tekhnologiy = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2024;86(3):89–95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-3-89-95>
20. Solovyov A. O., Turshatov M. V., Kononenko V. V., Pogorzelskaya N. S., Pavlenko S. V. Processing of artichoke tubers into distillates for the original alcoholic beverages production. *Industriya pitaniya = Food Industry*. 2022;7(4):36–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-4-4>
21. Alekseev V. V., Kirillov E. A., Turshatov M. V., Solovyov A. O. Distillation apparatus with elements of rectifying columns. Theoretical and practical aspects of the development of the alcohol and distillery industry: collection of scientific papers on the proceedings of the international scientific and practical seminar. Moscow: *ООО «Первое экономическое издание»*, 2022. pp. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785912924460.24-30>
22. Sharikov A. Yu., Stepanov V. I. Instrumental methods of texture analysis of extruded products. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnikh pishchevikh produktov*. 2015;(5(34)):3–9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24340847>
23. Šárka E., Sluková M., Henke S. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods*. 2021;10(9):2100. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092100>

Сведения об авторах

Шариков Антон Юрьевич, кандидат техн. наук, заведующий отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

✉ **Амелякина Мария Валентиновна**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: foodbiotech@ya.ru

Голубев Алексей Алексеевич, инженер-технолог 1-й кат., отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-6472>

Соколова Елена Николаевна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Ионов Владислав Витальевич, аспирант, инженер-технолог отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-8707>

Поливановская Дарья Викторовна, ведущий инженер-технолог отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Иванов Виктор Витальевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

Information about the authors

Anton Yu. Sharikov, PhD in Engineering, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

✉ **Maria V. Amelyakina**, PhD in Engineering, senior researcher, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: foodbiotech@ya.ru

Alexey A. Golubev, engineer-technologist 1 cat., the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-b, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-6472>

Elena N. Sokolova, PhD in Biology, leading researcher, the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Vladislav V. Ionov, postgraduate student, process engineer, the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-8707>

Daria V. Polivanovskaya, leading engineer-technologist, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-b, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Viktor V. Ivanov, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

✉ – Для контактов / Corresponding author