





Конструкторские и технологические решения для производства антоцианосодержащего экстракта черного риса

Ольга В. Золотовская	¹	olazoloto@bk.ru	 0000-0003-1758-0593
Ольга И. Коннова	¹	okonnova88@gmail.com	 0009-0007-1691-1780
Наталия П. Мемедейкина	¹	zolinatashka@mail.ru	 0009-0007-1691-1780
Светлана А. Свирина	¹	svetlanasv97@yandex.ru	 0009-0002-1646-2421
Юрий А. Максименко	¹	amxsl@yandex.ru	 0000-0001-7973-1903

¹ Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. Известно, что черный рис содержит большое количество антоцианов, является доступным, технологически рациональным и экономически целесообразным сырьем для промышленного получения антоцианов. Актуальны исследования по разработке и научно-практическому обоснованию технологических и технических решений для производства антоцианов и антоцианового пищевого красителя из черного риса. Проанализированы научно-техническая и патентная литература в области техники и технологий извлечения антоцианов и их использования в качестве натурального красителя и функционального компонента в составе пищевых продуктов. В статье представлены технические и технологические решения, машинно-аппаратурная схема и режимные параметры основных технологических процессов для производства экстракта черного риса. В качестве объектов переработки использованы черный рис сорта «Мулатка» и черный рис сорта «Южная ночь». Антоциановый пищевой краситель из черного риса является высушенным распылительным способом экстрактом черного риса. Описаны основные технологические процессы: формирование гидромодуля, экстракция, фильтрование, концентрирование и сушка. Представлены показатели качества сухого экстракта черного риса. Предложена рациональная конструкция ультразвукового экстрактора для реализации водной экстракции антоцианов из черного риса. Разработанный запатентованный способ основан на водной ультразвуковой экстракции по принципу реперколяции при гидромодуле 1:4–1:6, температуре 30–40°C, с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² в течение 70–120 минут при постоянном циркуляционном перемешивании экстрагента с кратностью циркуляции 15–25 объемов/час. Выход антоцианов по предлагаемому способу составляет до 96%. Концентрирование проводят путем вакуум-выпаривания при температуре 30–40°C до содержания сухих веществ 10–15%, с последующей распылительной сушкой при температуре 140–160°C. Сочетание экстракции по типу реперколяции, механического перемешивания и ультразвуковой обработки обеспечивает синергетический эффект, значительно ускоряя процесс по сравнению с традиционными методами. Предложенные конструкторские и технологические решения могут быть применимы на предприятиях по глубокой переработке сырья растительного происхождения для производства антоцианов, биологически активных добавок и функциональных продуктов питания.

Ключевые слова: антоцианы, пищевой краситель, экстракт черного риса, ультразвуковая экстракция, экстрактор.

Construction solutions and technological solutions for the production of anthocyanin-containing extract of black rice

Olga V. Zolotovskaya	¹	olazoloto@bk.ru	 0000-0003-1758-0593
Olga I. Konnova	¹	okonnova88@gmail.com	 0009-0007-1691-1780
Natalia P. Memedeikina	¹	zolinatashka@mail.ru	 0009-0007-1691-1780
Svetlana A. Svirina	¹	svetlanasv97@yandex.ru	 0009-0002-1646-2421
Yuri A. Maksimenko	¹	amxsl@yandex.ru	 0000-0001-7973-1903

¹ Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. It is known that black rice contains a large amount of anthocyanins and is an accessible, technologically rational and economically feasible raw material for industrial production of anthocyanins. Research on the development and scientific-practical justification of technological and technical solutions for the production of anthocyanins and anthocyanin food colorant from black rice is relevant. Scientific-technical and patent literature in the field of techniques and technologies for anthocyanin extraction and their use as a natural colorant and functional component in food products has been analyzed. The article presents technical and technological solutions, machine-hardware scheme and operating parameters of the main technological processes for the production of black rice extract. Black rice varieties "Mulatka" and "Yuzhnaya Noch" were used as processing objects. The anthocyanin food colorant from black rice is a spray-dried extract of black rice. The main technological processes are described: formation of hydromodule, extraction, filtration, concentration and drying. Quality indicators of dry black rice extract are presented. A rational design of an ultrasonic extractor for implementing aqueous extraction of anthocyanins from black rice is proposed. The developed patented method is based on aqueous ultrasonic extraction according to the percolation principle at a hydromodule of 1:4–1:6, temperature of 30–40°C, using ultrasonic treatment with a frequency of 22 kHz and intensity of 50 W/cm² for 70–120 minutes with constant circulation mixing of the extractant at a circulation rate of 15–25 volumes/hour. The yield of anthocyanins by the proposed method reaches up to 96%. Concentration is carried out by vacuum evaporation at a temperature of 30–40°C to a dry matter content of 10–15%, followed by spray drying at a temperature of 140–160°C. The combination of percolation-type extraction, mechanical mixing and ultrasonic treatment provides a synergistic effect, significantly accelerating the process compared to traditional methods. The proposed design and technological solutions can be applied at enterprises for deep processing of plant raw materials for the production of anthocyanins, biologically active additives and functional food products.

Keywords: anthocyanins, food coloring, black rice extract, ultrasonic extraction, extractor.

Для цитирования

Золотовская О.В., Коннова О.И., Мемедейкина Н.П., Свирина С.А., Максименко Ю.А. Конструкторские и технологические решения для производства антоцианосодержащего экстракта черного риса // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 193–199. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-193-199

For citation

Zolotovskaya O.V., Konnova O.I., Memedeikina N.P., Svirina S.A., Maksimenko Y.A. Construction solutions and technological solutions for the production of anthocyanin-containing extract of black rice. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 193–199. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-193-199

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Многочисленными исследованиями доказаны положительные свойства антоцианов для организма человека, например, антиоксидантное действие, противовоспалительное действие, антираковая активность, антидиабетическая активность и др.

В настоящее время практически все натуральные антоцианы, применяемые в пищевой промышленности в качестве красителей или как биологически активные компоненты в составе функциональных продуктов питания, получают, преимущественно, из ягод, фруктов, овощей и злаков. Антоцианы используют для окрашивания широкого ассортимента пищевой продукции (соусов, напитков, марципана, шоколада, теста, мастики, мороженого и других продуктов) [1–6]. В связи с доказанным высоким содержанием антоцианов 60–140 мг на 100 г [7, 8], черный рис является технологически рациональным и экономически целесообразным источником антоцианов [9, 10].

В России для получения антоцианов в условиях предприятий различной мощности черный рис не используется ввиду отсутствия рациональной технологии комплексной переработки черного риса с получением антоцианов, пищевых красителей и других продуктов.

Следовательно, актуальны исследования по разработке и научно-практическому обоснованию технологических и технических решений для производства антоцианов и антоцианового пищевого красителя из черного риса.

Цель работы – разработка технологических решений для производства антоциансодержащего экстракта черного риса в сухой форме, подбора рациональных режимных параметров и аппаратного оформления предложенной технологии.

Объекты и методы

Исследования по разработке способа и конструкторских решений для получения антоциансодержащего экстракта черного риса выполнены на кафедре «Технологические машины и оборудование» и научно-исследовательской лаборатории «Пищевые системы и биотехнологии» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

В качестве объектов переработки использованы черный рис сорта «Мулатка» и черный рис сорта «Южная ночь». В работе применялись как традиционные, так и экспериментальные методы исследования. При проведении исследований использованы современные методики сбора, статистической обработки и анализа информации.

Качественное и количественное определение основного красящего вещества проводили спектрофотометрическим методом в соответствии с ГОСТ 33767–2016 «Добавки пищевые. Методы идентификации и определения массовой доли основного красящего вещества в пищевом красителе антоцианы E163».

Массовую долю концентрацию антоцианов, в пересчете на цианидин-3-глюкозид, определяли методом рН-дифференциальной спектрофотометрии в соответствии с ГОСТ 32709–2014 «Продукция соковая. Методы определения антоцианов».

Результаты и обсуждение

Традиционными стадиями при получении антоцианов из сырья растительного происхождения являются: подготовка и измельчение сырья, отделение сока или экстракция, фильтрование, ультрафильтрация, концентрирование и сушка.

Проведен анализ научной, научно-технической литературы и патентной информации. Разработке технологических решений для эффективного извлечения антоцианов из различного сырья и подбору растворителей посвящено большое количество исследований [4, 11–13]. Обоснованию различных методов интенсификации процессов извлечения ценных компонентов из растительного сырья посвящен ряд исследовательских работ [14, 15]. Актуальными являются разработки в области конструкторских решений для организации эффективной экстракции растительного сырья [16–19].

Для извлечения антоцианов из черного риса и последующего их использования в пищевой промышленности, в том числе как натурального красителя, предложен и запатентован способ [20], основанный на водной ультразвуковой экстракции по принципу реперколяции.

Разработанный способ включает: смешивание сырья с экстрагентом – водой, экстрагирование при ультразвуковой обработке смеси, отделение экстракта и его концентрирование при этом экстрагирование проводится методом реперколяции при гидромодуле 1: 4 – 1:6 и температуре 30–40 °С с использованием ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² в течение 70–120 мин при постоянном циркуляционном перемешивании экстрагента с кратностью циркуляции 15–25 объемов/ч, затем экстракт отделяют фильтрованием, концентрирование проводят путем вакуум-выпаривания экстракта при температуре 30–40 °С до содержания сухих веществ 10–15%, затем экстракт подвергают распылительной сушке при температуре 140–160 °С. Выход антоцианов по предлагаемому способу – до 96%.

Антоциановый пищевой темно-фиолетовый краситель из черного риса является высушенным распылительным способом экстрактом черного риса с влажностью не более 5%. Изменяя рН красителя, можно получить весь цветовой спектр необходимых красителей.

Последовательность основных технологических операций представлена в виде разработанной машинно-аппаратурной схемы (рисунок 1), а режимные параметры основных операций, установленные в ходе исследований, представлены в таблице 1.

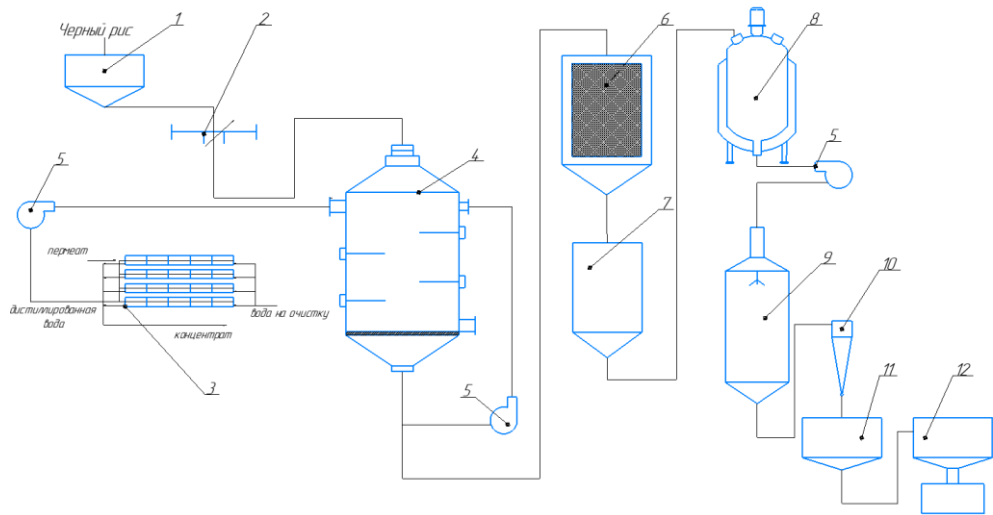


Рисунок 1. Машинно-аппаратурная схема производства экстракта черного риса: 1 – приемный бункер, 2 – весовой дозатор, 3 – водоподготовка, 4 – ультразвуковой экстрактор, 5 – насос, 6 – фильтрующее устройство, 7 – приемный бункер, 8 – вакуум-выпарной аппарат, 9 – распылительная сушилка, 10 – циклон, 11 – приемный бункер, 12 – фасовочное устройство

Figure 1. Machine and hardware scheme for the production of black rice extract: 1 – receiving hopper, 2 – weighing dispenser, 3 – water treatment, 4 – ultrasonic extractor, 5 – pump, 6 – filtering device, 7 – receiving hopper, 8 – vacuum evaporator, 9 – spray dryer, 10 – cyclone, 11 – receiving hopper, 12 – filling device

Таблица 1. Режимные параметры технологических стадий производства экстракта черного риса

Table 1.

Operating parameters of the technological stages of black rice extract production

Технологическая стадия Technological stage	Описание и режимные параметры Description and Operating Parameters
Формирование экстракционной смеси – дозирование и смешивание сырья и экстрагента Formation of the extraction mixture – dosing and mixing of raw materials and extractant	Черный рис загружают в ультразвуковую экстракционную установку, затем заливают подготовленную воду с температурой 30–40 °С. Смешивание для получения экстракционной смеси происходит в соотношении сырье: вода от 1:4 до 1:6. Экстракционную смесь перемешивают и поддерживают ее температуру в диапазоне 30–40 °С Black rice is loaded into an ultrasonic extraction unit, then poured with prepared water at a temperature of 30–40°C. Mixing to obtain the extraction mixture occurs at a raw material:water ratio of 1:4 to 1:6. The extraction mixture is stirred and maintained at a temperature of 30–40°C.
Экстракция Extraction	Для извлечения водорастворимых компонентов – антоцианов из черного риса применяется ультразвуковая обработка экстракционной смеси воздействием ультразвуковых волн частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см². Процесс экстракции длится от 70 до 120 мин. Экстракционную смесь перемешивают и поддерживают ее температуру в диапазоне 30–40 °С To extract water-soluble components—anthocyanins—from black rice, the extraction mixture is ultrasonically treated with ultrasonic waves at a frequency of 22 kHz and an intensity of 50 W/cm². The extraction process lasts 70 to 120 minutes. The extraction mixture is stirred and maintained at a temperature of 30–40°C.
Фильтрация Filtration	По завершению процесса экстракции полученную смесь разделяют на твердую фракцию – отработанный рис и жидкую фракцию – экстракт. Рис. отправляется на дальнейшую переработку (для получения кормовой продукции, рисовой муки крахмала, и др.) Once the extraction process is complete, the resulting mixture is separated into a solid fraction (spent rice) and a liquid fraction (extract). Fig. The extract is sent for further processing (to produce feed products, rice flour, starch, etc.).
Концентрирование Concentration	Концентрирование экстракта проводят путем вакуум-выпаривания при температуре 30–40 °С до содержания сухих веществ в концентрате 10–15% The extract is concentrated by vacuum evaporation at a temperature of 30–40°C to a dry matter content of 10–15% in the concentrate.
Сушка Drying	Проводят распылительную сушку концентрата при температуре воздуха 140–160 °С для получения сухой формы экстракта (порошка) влажностью не более 5,0% The concentrate is spray-dried at an air temperature of 140–160°C to obtain a dry extract (powder) with a moisture content of no more than 5.0%.

В таблице 2 приведены основные органолептические показатели качества антоцианового красителя – сухого экстракта черного риса (рисунок 2), полученного при рациональных режимах экстракции.

Таблица 2.
Органолептические показатели экстракта
черного риса

Table 2.
Organoleptic characteristics of black rice extract

Показатель Index	Характеристика Value
Внешний вид Appearance	Однородный порошок без сбившихся комочков и посторонних примесей A uniform powder without lumps or foreign impurities
Запах Smell	Чистый, свойственный запаху риса, без посторонних запахов Clean, with a characteristic rice aroma, free of foreign odors
Вкус Taste	Кислый или слабокислый, слегка терпкий, без посторонних привкусов Sour or slightly sour, slightly tart, without foreign flavors
Цвет Color	От темно-красного до темно- фиолетового From dark red to dark purple

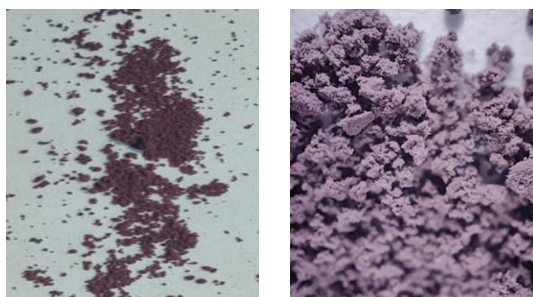


Рисунок 2. Тонкодисперсный порошок антоцианов
Figure 2. Fine powder of anthocyanins

Для эффективной реализации процесса ультразвуковой экстракции антоцианов из черного риса предложена конструкция экстрактора, представленная на рисунке 3.

Конструкция позволяет осуществлять экстракцию сырья путем реперколяции при циркуляции экстрагента и ультразвуковом

Разработанная машинно-аппаратурная схема (рисунок 1) позволяет спроектировать производственный участок с учетом норм технологического проектирования организаций по производству пищевой продукции.

Реализация основных стадий процесса производства сухого экстракта черного риса таких как экстрагирование, выпаривание и сушка напрямую влияет на производительность и эффективность всей технологической линии.

Следовательно, необходимо произвести подбор рациональных конструкторских решений для аппаратурного оформления предложенного способа получения антоцианового красителя из черного риса.

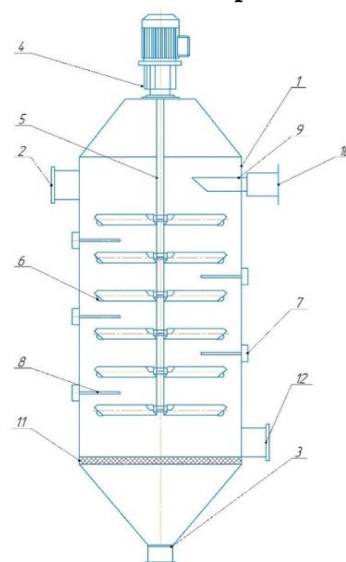


Рисунок 3. Ультразвуковой экстрактор: 1-цилиндрический корпус; 2, 3, 10, 12-технологические патрубки; 4 – приводная мешалка; 5-вал; 6 – загнутые горизонтальные лопасти; 7 – ультразвуковые генераторы; 8 – стержневые рабочие элементы; 9 – гидравлическая форсунка; 11-ложное дно
Figure 3. Ultrasonic extractor: 1-cylindrical body; 2, 3, 10, 12-process nozzles; 4-drive agitator; 5-shaft; 6 – curved horizontal blades; 7 – ultrasonic generators; 8 – rod working elements; 9 – hydraulic nozzle; 11-false bottom

Разработаны конструкции экстракторов [21, 22], вакуум-выпарного аппарата [23] и сушильных установок [24, 25], внедрение которых позволит на практике реализовать разработанные режимы процессов производства. Воздействию на систему сырье – экстрагент при ее механическом перемешивании.

Механическое объемное перемешивание перколяционного слоя при экстракции позволяет предотвращать образование застойных зон и улучшить контакт между сырьем и экстрагентом, тем самым ускоряя процесс диффузии и увеличивая скорость и эффективность экстракции.

Ультразвуковая обработка за счет кавитационного эффекта значительно усиливает процесс экстракции, обеспечивая ряд ключевых преимуществ. Кавитационные пузырьки, схлопываясь, создают микрогидродинамические ударные волны, которые ослабляют и частично разрушают клеточные стенки сырья, высвобождая целевые компоненты, увеличивают проницаемость сырья для экстрагента, улучшают диффузию экстрагента вглубь частиц. По сравнению с традиционными методами ультразвук ускоряет процесс в 2–10 раз. Ультразвуковая обработка позволяет снизить температуру процесса, сохраняя термолабильные соединения.

Сочетание таких факторов как экстракция по типу реперколяции, механическое перемешивание и ультразвуковая обработка перколяционного слоя обеспечивает синергетический эффект, значительно ускоряя процесс экстракции

по сравнению с традиционными методами, что и подтверждено в ходе реализации способа по патенту [20] и анализе показателей качества полученных образцов антоцианового красителя.

Заключение

Разработанные способ, машинно-аппаратурная схема, режимы технологических процессов и конструкции аппаратов необходимы

для внедрения на предприятиях, специализирующихся на переработке растительного сырья. Внедрение позволит наладить выпуск ценной продукции: антоцианов, антоцианосодержащих биологически-активных добавок из черного риса, антоцианового пищевого красителя, функциональных продуктов питания.

Литература

- 1 Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Егорова О.С. Производство и применение натуральных антоциановых пищевых красителей (обзор) // Пищевая промышленность. 2021. № 10. С. 13–19.
- 2 Albuquerque B.R., Oliveira M.B.P.P., Barros L., Ferreira I.C.F.R. Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. V. 61. № 5. P. 805–835. doi: 10.1080/10408398.2020.1746904
- 3 Кайсина Д.А. Антоциановые природные пигменты – альтернатива искусственным пищевым красителям // Многополярный мир в фокусе новой действительности. 2023. С. 90–92.
- 4 Болотов В.М., Комарова Е.В., Саввин П.Н. Технология получения, свойства и применение пищевых красителей на основе природных антоциановых и каротиноидных соединений // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2018. Т. 24. № 1. С. 124–133. doi: 10.17277/vestnik.2018.01. pp.124-133
- 5 Технология получения натуральных антоциановых красителей и их использование в составе функциональных продуктов питания / Дейнека В.И., Мячикова Н.И., Дейнека Л.А., Блинова И.П. // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. (Саратов, 24–25 марта 2021 г.) / Под общ. ред. О.М. Поповой, Н.В. Неповинных, В.А. Буховец. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2021. С. 251–255.
- 6 Swami S.B., Ghgare S.N., Swami S.S. et al. Natural pigments from plant sources: A review // The Pharma Innovation Journal. 2020. V. 9. № 10. P. 566–574.
- 7 Гончарова Ю.К., Бушман Н.Ю., Бруяко В.Н. Черноплодный рис как источник антиоксидантов в питании россиян // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 108–110.
- 8 Яшин Я.И., Рыжнёв В.Ю., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и влияние их на здоровье и старение человека. Транс. Лит., 2009. С. 126–130.
- 9 Silva Fernandes T., Dias Ferreira G.M., da Silva G.A., Boggione Santos I.J., Barbosa Mageste A. Extraction of anthocyanins from the byproduct and wastes of black rice production by ecofriendly method // Separation Science and Technology. 2021. V. 57. № 9. P. 1442–1453. doi: 10.1080/01496395.2021.1992437
- 10 Leonarski E., Kuasnei M., Cesca K., Oliveira D. de, Zielinski A.A.F. Black rice and its by-products: anthocyanin-rich extracts and their biological potential // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. V. 64. № 25. P. 9261–9279. doi: 10.1080/10408398.2023.2211169
- 11 Кольцов В.А., Бочаровов В.А. Изучение изменения антоцианов при ультразвуковой экстракции черноплодной рябины // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 4. С. ... (необходимо указать страницы).
- 12 Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Кушнаренко Л.В. Влияние условий извлечения на экстрагирование антоцианов из ягодного сырья // Вестник КРАСГАУ. 2023. № 8 (197). С. 218–226. doi: 10.36718/1819-4036-2023-8-218-226
- 13 Kurkin V.A., Shaikhutdinov I.K., Pravdivtseva O.E. et al. Development of approaches to standardization of fresh fruits of *Crataegus submollis* Sarg. // Problems of Biological Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2020. V. 23. № 3. P. 37–42. doi: 10.29296/25877313-2020-03-07
- 14 Чеснокова Н.Ю., Ашихмин Е.А. Влияние аскорбиновой кислоты на интенсивность извлечения антоцианового пигмента из ягод черной смородины и его стабильность // Индустрия питания. 2020. Т. 5. № 4. С. 68–73. doi: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-10
- 15 Даудова Т.Н., Давудова Л.А. Влияние электромагнитного поля на интенсификацию процесса экстрагирования антоцианов из плодов терна и дикой черешни // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2. № 3. С. 29–35. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-3-29-35
- 16 Герасимов М.А., Кошечкина А.С. Современные методы экстракции и очистки антоцианов // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № S5 (549). С. 190–191. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-234
- 17 Ультразвуковой экстрактор для растительного сырья / Коннова О.И., Золотовская О.В., Максименко Ю.А., Свирина С.А. // Наука и практика – 2023: материалы Всерос. междисциплинар. науч. конф. (Астрахань, 13–17 нояб. 2023 г.). Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2024. С. 253–254.
- 18 Пат. 204882 Российская Федерация, МПК B01D 11/02. Ультразвуковой экстрактор / Алексеев Г.В., Шанин В.А., Егорова О.А. и др.; заявитель Нац. исслед. ун-т ИТМО. № 2021106317; заявл. 11.03.2021; опубл. 16.06.2021.
- 19 Пат. 2796825 Российская Федерация, МПК B01D 11/02, B06B 1/06. Ультразвуковой экстрактор / Овсянников В.Ю., Дранникова Н.Е., Макеева Е.О.; заявитель Воронеж. гос. ун-т инженер. технологий. № 2022127334; заявл. 21.10.2022; опубл. 29.05.2023.
- 20 Пат. 2844558 Российская Федерация, МПК C09B 61/00. Способ получения антоцианового красителя из черного риса / Золотовская О.В., Максименко Ю.А., Неповинных Н.В. и др.; заявитель Астрахан. гос. техн. ун-т. № ...; заявл. 18.03.2025; опубл. 04.08.2025.
- 21 Пат. 225428 Российская Федерация, МПК B01D 11/02, F26B 5/02. Ультразвуковой экстрактор / Коннова О.И., Золотовская О.В., Свирина С.А. и др.; заявитель Астрахан. гос. техн. ун-т. № 2024107398; заявл. 21.03.2024; опубл. 22.04.2024.

- 22 Пат. 231856 Российская Федерация, МПК B01D 11/02. Ультразвуковой экстрактор / Коннова О.И., Мемедейкина Н.П., Теличкина Э.Р. и др.; заявитель Астрахан. гос. техн. ун-т. № ...; заявл. 11.10.2024; опубл. 13.02.2025.
- 23 Пат. 234730 Российская Федерация, МПК F26B 15/04, F26B 3/18. Выпарной аппарат для пенящихся материалов / Варданян М.А., Соколова Е.В., Мемедейкина Н.П. и др.; заявитель Астрахан. гос. техн. ун-т. № ...; заявл. 14.03.2025; опубл. 06.06.2025.
- 24 Пат. 225345 Российская Федерация, МПК F26B 17/10, F26B 3/12, F26B 3/30. Распылительная сушилка / Максименко Ю.А., Алексанян И.Ю., Свирина С.А. и др.; заявитель Астрахан. гос. техн. ун-т. № 2024105484; заявл. 04.03.2024; опубл. 17.04.2024.
- 25 Lu W., Shi Y., Wang R. et al. Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. V. 22. № 9. P. 4945. doi: 10.3390/ijms22094945
- 26 Fernández-López J.A., Fernández-Lledó V., Angosto J.M. New insights into red plant pigments: more than just natural colorants // *RSC Advances*. 2020. V. 10. № 41. P. 24669–24682. doi: 10.1039/D0RA03514A
- 27 Singh T. et al. Natural bio-colorant and pigments: Sources and applications in food processing // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. V. 12. P. 100628. doi: 10.1016/j.jafr.2023.100628
- 28 Mohammad Azmin S.N.H. et al. A review on recent advances on natural plant pigments in foods: Functions, extraction, importance and challenges // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2022. V. 194. № 10. P. 4655–4672. doi: 10.1007/s12010-022-04050-z

References

- 1 Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Egorova O.S. Production and application of natural anthocyanin food colorants (review). *Food Industry*. 2021. no. 10. pp. 13–19. (in Russian).
- 2 Albuquerque B.R., Oliveira M.B.P.P., Barros L., Ferreira I.C.F.R. Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. vol. 61. no. 5. pp. 805–835. doi: 10.1080/10408398.2020.1746904.
- 3 Kaisina D.A. Anthocyanin natural pigments – an alternative to artificial food colorants. *Multipolar World in the Focus of New Reality*. 2023. pp. 90–92. (in Russian).
- 4 Bolotov V.M., Komarova E.V., Savvin P.N. Technology of production, properties and application of food colorants based on natural anthocyanin and carotenoid compounds. *Bulletin of Tambov State Technical University*. 2018. vol. 24. no. 1. pp. 124–133. doi: 10.17277/vestnik.2018.01.pp.124-133 (in Russian).
- 5 Technology of obtaining natural anthocyanin dyes and their use in functional food products. Deineka V.I., Myachikova N.I., Deineka L.A., Blinova I.P. In: *Food Technologies of the Future: Innovations in the Production and Processing of Agricultural Products: collection of articles of the II International Scientific-Practical Conference (Saratov, March 24–25, 2021)*. / Ed. by O.M. Popova, N.V. Nepovinnikh, V.A. Bukhovets. Saratov: Center for Social Agroinnovations of Saratov State Agrarian University, 2021. pp. 251–255. (in Russian).
- 6 Swami S.B., Ghgare S.N., Swami S.S. et al. Natural pigments from plant sources: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 2020. vol. 9. no. 10. pp. 566–574.
- 7 Goncharova Yu.K., Bushman N.Yu., Bruyako V.N. Black-grained rice as a source of antioxidants in the nutrition of Russians. *New and Non-traditional Plants and Prospects for Their Use*. 2016. no. 12. pp. 108–110. (in Russian).
- 8 Yashin Ya.I., Ryzhnev V.Yu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. Natural antioxidants. Content in food products and their effect on human health and aging. *Translit*, 2009. pp. 126–130. (in Russian).
- 9 Silva Fernandes T., Dias Ferreira G.M., da Silva G.A., Boggione Santos I.J., Barbosa Mageste A. Extraction of anthocyanins from the byproduct and wastes of black rice production by ecofriendly method. *Separation Science and Technology*. 2021. vol. 57. no. 9. pp. 1442–1453. doi: 10.1080/01496395.2021.1992437.
- 10 Leonarski E., Kuasnei M., Cesca K., Oliveira D. de, Zielinski A.A.F. Black rice and its by-products: anthocyanin-rich extracts and their biological potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. vol. 64. no. 25. pp. 9261–9279. doi: 10.1080/10408398.2023.2211169.
- 11 Koltsov V.A., Bocharovov V.A. Study of anthocyanin changes during ultrasonic extraction of chokeberry. *Science and Education*. 2021. vol. 4. no. 4. [Note: Please insert the specific page range once available]. (in Russian).
- 12 Chesnokova N.Yu., Kuznetsova A.A., Kushnarenko L.V. Influence of extraction conditions on anthocyanin extraction from berry raw materials. *Bulletin of KrasGAU*. 2023. no. 8 (197). pp. 218–226. doi: 10.36718/1819-4036-2023-8-218-226 (in Russian).
- 13 Kurkin V.A., Shaikhutdinov I.K., Pravdivtseva O.E. et al. Development of approaches to standardization of fresh fruits of *Crataegus submollis* Sarg. *Problems of Biological Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2020. vol. 23. no. 3. pp. 37–42. doi: 10.29296/25877313-2020-03-07.
- 14 Chesnokova N.Yu., Ashikhmin E.A. Effect of ascorbic acid on the intensity of extraction of anthocyanin pigment from black currant berries and its stability. *Food Industry*. 2020. vol. 5. no. 4. pp. 68–73. doi: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-10 (in Russian).
- 15 Daudova T.N., Daudova L.A. Influence of electromagnetic field on intensification of anthocyanin extraction process from sloe and wild cherry fruits. *Scientific Research: Results and Prospects*. 2021. vol. 2. no. 3. pp. 29–35. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-3-29-35 (in Russian).
- 16 Gerasimov M.A., Koshechikina A.S. Modern methods of extraction and purification of anthocyanins. *Problems of Nutrition*. 2023. vol. 92. no. S5 (549). pp. 190–191. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-234 (in Russian).
- 17 Ultrasonic extractor for plant raw materials. Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Maksimenko Yu.A., Svirina S.A. In: *Science and Practice – 2023: Proceedings of the All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference (Astrakhan, November 13–17, 2023)*. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2024. pp. 253–254. (in Russian).
- 18 Patent no. 204882, Russian Federation, IPC B01D 11/02. Ultrasonic extractor. Alekseev G.V., Shanin V.A., Egorova O.A. et al.; applicant National Research University ITMO. no. 2021106317; filed 11.03.2021; publ. 16.06.2021. (in Russian).

19 Patent no. 2796825, Russian Federation, IPC B01D 11/02, B06B 1/06. Ultrasonic extractor. Ovsyannikov V.Yu., Drannikova N.E., Makeeva E.O.; applicant Voronezh State University of Engineering Technologies. no. 2022127334; filed 21.10.2022; publ. 29.05.2023. (in Russian).

20 Patent no. 2844558, Russian Federation, IPC C09B 61/00. Method for producing anthocyanin dye from black rice. Zolotovskaya O.V., Maksimenko Yu.A., Nepovinnikh N.V. et al.; applicant Astrakhan State Technical University. no. [Note: Please insert the application number once available]; filed 18.03.2025; publ. 04.08.2025. (in Russian).

21 Patent no. 225428, Russian Federation, IPC B01D 11/02, F26B 5/02. Ultrasonic extractor. Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Svirina S.A. et al.; applicant Astrakhan State Technical University. no. 2024107398; filed 21.03.2024; publ. 22.04.2024. (in Russian).

22 Patent no. 231856, Russian Federation, IPC B01D 11/02. Ultrasonic extractor. Konnova O.I., Memedeikina N.P., Telichkina E.R. et al.; applicant Astrakhan State Technical University. no. [Note: Please insert the application number once available]; filed 11.10.2024; publ. 13.02.2025. (in Russian).

23 Patent no. 234730, Russian Federation, IPC F26B 15/04, F26B 3/18. Evaporator for foaming materials. Vardanyan M.A., Sokolova E.V., Memedeikina N.P. et al.; applicant Astrakhan State Technical University. no. [Note: Please insert the application number once available]; filed 14.03.2025; publ. 06.06.2025. (in Russian).

24 Patent no. 225345, Russian Federation, IPC F26B 17/10, F26B 3/12, F26B 3/30. Spray dryer. Maksimenko Yu.A., Aleksanyan I.Yu., Svirina S.A. et al.; applicant Astrakhan State Technical University. no. 2024105484; filed 04.03.2024; publ. 17.04.2024. (in Russian).

25 Lu W., Shi Y., Wang R. et al. Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review. International Journal of Molecular Sciences. 2021. vol. 22. no. 9. article 4945. doi: 10.3390/ijms22094945.

26 Fernández-López J.A., Fernández-Lledó V., Angosto J.M. New insights into red plant pigments: more than just natural colorants. RSC Advances. 2020. vol. 10. no. 41. pp. 24669–24682. doi: 10.1039/D0RA03514A.

27 Singh T. et al. Natural bio-colorant and pigments: Sources and applications in food processing. Journal of Agriculture and Food Research. 2023. vol. 12. article 100628. doi: 10.1016/j.jafr.2023.100628.

28 Mohammad Azmin S.N.H. et al. A review on recent advances on natural plant pigments in foods: Functions, extraction, importance and challenges. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2022. vol. 194. no. 10. pp. 4655–4672. doi: 10.1007/s12010-022-04050-z.

Сведения об авторах

Ольга В. Золотовская ассистент, кафедра технологических машин и оборудования, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, olazoloto@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1758-0593>

Ольга И. Коннова ассистент, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, okonnova88@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Наталья П. Мемедейкина к.т.н., доцент, кафедра технологических машин и оборудования, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, zolinatashka@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Светлана А. Свирина к.т.н., доцент, кафедра технологических машин и оборудования, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, svetlanasv97@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0002-1646-2421>

Юрий А. Максименко д.т.н., профессор, кафедра технологических машин и оборудования, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, amxs1@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga V. Zolotovskaya assistant, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, olazoloto@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1758-0593>

Olga I. Konnova assistant, Department of Technology of Goods and Commodity Science, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, okonnova88@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Natalia P. Memedeikina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, zolinatashka@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Svetlana A. Svirina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, svetlanasv97@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0002-1646-2421>

Yuri A. Maksimenko Степень, должность, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, amxs1@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/10/2025	После редакции 28/10/2025	Принята в печать 10/11/2025
Received 01/10/2025	Accepted in revised 28/10/2025	Accepted 10/11/2025