

Биохимический и пищевой инжиниринг

Biochemical and food engineering

Научная статья
УДК 66.061.34
DOI: 10.14529/food250304

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АНТОЦИАНОВОГО КРАСИТЕЛЯ ИЗ ЧЁРНОГО РИСА

О.В. Золотовская¹, olazoloto@bk.ru
О.И. Коннова¹, okonnova88@gmail.com
Н.В. Неповинных², [n nepovinnykh@yandex.ru](mailto:nnepovinnykh@yandex.ru)
Ю.А. Максименко¹, amxs1@yandex.ru

¹ Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

² Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

Аннотация. Биологически активные вещества – антоцианы, получаемые из некоторых видов растительного сырья, могут эффективно использоваться в пищевой промышленности. Целью настоящего исследования является разработка способа получения сухой формы экстракта черного риса для его последующего использования в качестве функциональной добавки и натурального пищевого красителя. В качестве объектов исследования рассмотрены: черный рис; экстракт черного риса с концентрацией сухих веществ 0,010–0,024 кг/кг; концентрированный экстракт черного риса с концентрацией сухих веществ 0,10–0,15 кг/кг (концентрат); экстракт черного риса в виде тонкодисперсного порошка (сухая форма) с концентрацией сухих веществ 0,95 кг/кг. Для получения экстрактов использован черный рис сорта «Муллатка» и черный рис сорта «Южная ночь». Проведен анализ научно-технической литературы и патентной информации по теме исследования. Изучены способы экстракции антоцианов из различного сырья и различные методы интенсификации процесса извлечения ценных компонентов из растительного сырья. Для получения антоцианов из черного риса и их использования в пищевой промышленности целесообразно разработать технологию, основанную на водной экстракции. С целью интенсификации массообмена при экстракции предложено применять ультразвуковую обработку экстракционной смеси и ее циркуляционное перемешивание. Выполнены исследования процессов ультразвуковой экстракции антоцианов из черного риса и распылительной сушки полученного экстракта. Предложен способ получения сухого экстракта черного риса, основанный на рациональном сочетании взаимозависимых процессов формирования экстракционной смеси, ультразвуковой экстракции, фильтрации, вакуум-выпаривания и распылительной сушки. Представлена машинно-аппаратурная схема способа, которая позволяет спроектировать промышленное предприятие или производственный участок по выпуску сухой формы экстракта черного риса для его последующего использования в качестве функциональной добавки и натурального пищевого красителя.

Ключевые слова: растительное сырье, чёрный рис, антоцианы, пищевой краситель, ультразвуковая экстракция

Для цитирования: Разработка рациональной технологии получения антоцианового красителя из чёрного риса / О.В. Золотовская, О.И. Коннова, Н.В. Неповинных, Ю.А. Максименко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 3. С. 34–46. DOI: 10.14529/food250304

Original article
DOI: 10.14529/food250304

DEVELOPMENT OF A RATIONAL TECHNOLOGY FOR PRODUCING ANTHOCYANIN DYE FROM BLACK RICE

O.V. Zolotovskaya¹, olazoloto@bk.ru
O.I. Konnova¹, okonnova88@gmail.com
N.V. Nepovinnykh², nnepovinnykh@yandex.ru
Yu.A. Maksimenko¹, amxs1@yandex.ru

¹ Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract. Biologically active substances – anthocyanins, obtained from certain types of vegetable raw materials, can be effectively used in the food industry. The purpose of this study is to develop a method for obtaining a dry form of black rice extract for its subsequent use as a functional additive and natural food coloring. The following research objects were considered: black rice; black rice extract with a dry matter concentration of 0.010–0.024 kg/kg; concentrated black rice extract with a dry matter concentration of 0.10–0.15 kg/kg (concentrate); black rice extract in the form of a fine powder (dry form) with a dry matter concentration of 0.95 kg/kg. To obtain extracts, black rice of the Mulatka variety and black rice of the Southern Night variety were used. The analysis of scientific and technical literature and patent information on the research topic is carried out. Methods of extraction of anthocyanins from various raw materials and various methods of intensification of the extraction of valuable components from vegetable raw materials have been studied. To obtain anthocyanins from black rice and use them in the food industry, it is advisable to develop a technology based on water extraction. In order to intensify mass transfer during extraction, it is proposed to use ultrasonic treatment of the extraction mixture and its circulating mixing. The processes of ultrasonic extraction of anthocyanins from black rice and spray drying of the obtained extract have been studied. A method for obtaining dry black rice extract based on a rational combination of interdependent processes of extraction mixture formation, ultrasound extraction, filtration, vacuum evaporation and spray drying is proposed. A machine and hardware scheme of the method is presented, which makes it possible to design an industrial enterprise or a production site for the production of a dry form of black rice extract for its subsequent use as a functional additive and natural food coloring.

Keywords: vegetable raw materials, black rice, anthocyanins, food coloring, ultrasonic extraction

For citation: Zolotovskaya O.V., Konnova O.I., Nepovinnykh N.V., Maksimenko Yu.A. Development of a rational technology for producing anthocyanin dye from black rice. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 3, pp. 34–46. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250304

Введение

Перспективным направлением развития индустрии продуктов питания функционального назначения является применение при их производстве биологически активных веществ, полученных из растительного сырья, в том числе антоцианов.

В настоящее время для антоцианов растительного сырья доказаны следующие виды биологической активности: противовоспалительный эффект, защита от сердечно-сосудис-

тых заболеваний, антиканцерогенные свойства, антимикробная активность и др. [3].

Почти все натуральные антоцианы, используемые в пищевой промышленности, получают из фруктов, овощей и злаков. По содержанию антоцианов черный рис может превосходить такие продукты, как черника, красное вино, красный виноград, земляника, краснокочанная капуста, красный лук и сок красного апельсина. Согласно литературным данным [11, 29, 30] черный рис содержит 60–140 мг антоцианов на 100 г.

Востребованность антоцианосодержащих окрашенных сортов риса, в том числе черного риса, обусловлена их нормализующим, регулирующим и корректирующим действием на здоровье человека посредством активного влияния на обменные процессы [1, 6, 8].

Антоцианы могут эффективно использоваться также в качестве натуральных пищевых красителей. Среди критериев, определяющих качество таких красителей, в первую очередь рассматривают безопасность, красящую способность, растворимость и функциональность. В зависимости от рН среды антоцианы могут существовать в различных формах, поэтому изменяя рН среды, в которой находится краситель, можно получить различный цветовой спектр окраски пищевой системы. Антоцианы традиционно используют для окрашивания широкого ассортимента пищевой продукции (соусов, теста, мастики, марципана, шоколада, мороженого и других продуктов).

Таким образом, актуальны исследования, направленные на разработку технологических и технических решений для извлечения антоцианов из черного риса, то есть получения сухой формы экстракта черного риса для его последующего использования в качестве функциональной добавки и натурального пищевого красителя.

Общая технологическая схема получения антоцианов из растительного сырья состоит из нескольких этапов: подготовки и измельчения растительного сырья, получения сока или экстракции, фильтрования сока или экстракционной смеси, концентрирования и сушки сока или экстракта для получения порошковой формы продукта.

Проведен анализ научно-технической литературы и патентной информации. Разработке способов экстракции антоцианов из различного сырья и подбору растворителя посвящено большое количество актуальных исследований [4, 5, 9, 10, 12, 13, 16, 22]. Кроме того, научно-практический интерес представляют исследования, посвященные обоснованию различных методов интенсификации процесса извлечения ценных компонентов из растительного сырья [5, 14, 15, 23, 25, 31] и разработке конструкций экстракторов [7, 17, 24, 26, 28].

Предложен способ получения сухих форм антоцианов [19], основанный на экстрагировании антоцианов из растительного сырья,

причем в качестве экстрагента используется водный раствор соляной кислоты. Далее экстракт фильтруют, очищают от балластных веществ, упаривают и смешивают с мальтодекстрином или арабиногалактаном. Полученную перемешиванием до однородной массы смесь высушивают методом распылительной сушки.

Разработан способ извлечения антоцианов из шрота картофеля фиолетового при обработке экстракционной смеси в виброкавитационном гомогенизаторе и емкости с ультразвуковым генератором [20]. После обработки смесь фильтруют, и экстракт направляют на вакуум-выпаривание и сублимационную сушку с получением целевого продукта.

Для получения красителя из выжимок черноплодной рябины предложено замораживать исходное сырье, и далее экстрагировать красящие вещества горячей водой с добавлением лимонной кислоты. Далее экстракт концентрируют, и полученный концентрат красящих веществ обрабатывают йодистым метилом, и далее образовавшийся модифицированный краситель отделяют разделением фаз от бесцветного нижнего слоя [18].

Экстракцию антоцианосодержащего сырья – жом ягод – предложено выполнять в две ступени [21]. Первичная экстракция для удаления балластных веществ органическими неполярными и малополярными растворителями. Затем экстракт фильтруют, и удаляют растворитель первичной экстракции. Далее водным раствором 60–65 % этилового спирта и 0,1–0,2 % лимонной кислоты производится вторичная экстракция целевых компонентов – антоцианов. Вторичная экстракция выполняется в течение 3–4 часов при температуре 53–60 °С, и затем экстракт фильтруют, вакуум-выпаривают при температуре (47 ± 2) °С, и при этом удаляют этанол. Далее водную антоциановую фракцию высушивают распылительным способом.

В работе [32] выполнена оценка влияния методов экстракции и различных растворителей на общее содержание антоцианов, фенольных соединений и антиоксидантную активность *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas («горный имбирь»). Установлено, что максимальное количество антоцианов можно извлечь метанолом, а ультразвуковая обработка позволяет улучшить экстракцию биологически активных соединений.

Для извлечения антоцианов из черного риса для последующего использования в пищевой промышленности целесообразной является технология, в основе которой лежит стадия экстракции, при этом в качестве экстрагента предпочтительно использовать воду, и при организации процесса экстракции по принципу реперколяции с целью интенсификации массообмена следует применять ультразвуковую обработку экстракционной смеси и циркуляционное перемешивание.

Целью настоящего исследования является разработка способа получения сухой формы экстракта черного риса для его последующего использования в качестве функциональной добавки и натурального пищевого красителя.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования рассмотрены: черный рис; экстракт черного риса с концентрацией сухих веществ 0,010–0,024 кг/кг; концентрированный экстракт черного риса с концентрацией сухих веществ 0,10–0,15 кг/кг (концентрат); экстракт черного риса в виде тонкодисперсного порошка (сухая форма) с концентрацией сухих веществ 0,95 кг/кг. Для получения экстрактов использован черный рис сорта «Мулатка» и черный рис сорта «Южная ночь».

Экспериментально-аналитическая часть работы включала исследование процессов ультразвуковой экстракции антоцианов из черного риса и распылительной сушки полученного экстракта. Далее, с учетом полученных результатов, разработан способ получения сухой формы экстракта черного риса, содержащего антоцианы.

Для проведения комплексных экспериментальных исследований на базе ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» использовались следующие основные приборы и оборудование: весы, спектрофотометр, рефрактометр, ротационный испаритель, распылительная сушилка УС-15, шкаф сушильный, ультразвуковая установка УЗТ 0,4/22 ОМ, анализатор влажности, экспериментальная установка для исследования процесса ультразвуковой экстракции и другие приборы.

Для определения содержания массовой доли основного красящего вещества красителя, полученного при различных режимах экстракции и сушки, применялся спектрофото-

метрический метод в соответствии с ГОСТ 33767-2016 на пищевую добавку антоцианы Е163, который является наиболее распространенным для определения содержания антоцианов.

Исследования по определению длины волны, соответствующей максимуму поглощения света водным экстрактом черного риса и зависимости оптической плотности от его концентрации, проводились на спектрофотометре В-1200 Эквью.

В качестве величины длины волны λ , соответствующей максимуму поглощения света, использовалось такое значение длины волны, при котором наблюдается максимальное значение оптической плотности для экстракта в состоянии динамического равновесия. Установлено для экстракта черного риса $\lambda = 510\text{--}520$ нм, что согласуется с литературными источниками [2, 27], в которых отмечается, что максимум поглощения для большинства природных антоцианов в диапазоне длин волн 510–560 нм.

Определена массовая доля основного красящего вещества X , %, рассчитанная по формуле:

$$X = \frac{AM}{E_{1\text{см}}^{1\%} dm}, \quad (1)$$

где A – оптическая плотность раствора анализируемого красителя, ед. опт. пл.; M – масса раствора анализируемого красителя, рассчитанная по формуле:

$$M = Vp, \quad (2)$$

где V – объем раствора анализируемого красителя, см^3 ; $V = 250 \text{ см}^3$; p – плотность раствора анализируемого красителя, численно равная плотности дистиллированной воды; $p = 1 \text{ г/см}^3$; $E_{1\text{см}}^{1\%}$ – удельный коэффициент светопоглощения, численно равный оптической плотности раствора красителя, с массовой долей красящего вещества 1 % при толщине поглощающего слоя 1 см, ед. опт. пл. $\%^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; $E_{1\text{см}}^{1\%} = 300$ ед. опт. пл. $\%^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; d – толщина поглощающего слоя, см; $d = 1$ см; m – масса пробы анализируемого красителя, взятой для анализа, г; $m = 0,2500$ г.

Из образцов экстракта, полученных при различных режимах экстракции и сушки, готовились растворы, и далее определялась их оптическая плотность.

Результаты исследования и их обсуждение

Выполнен комплекс исследований процесса ультразвуковой экстракции антоцианов из черного риса, при организации которого для различных сочетаний значений основных технологических параметров (гидромодуль, температура экстракционной смеси, кратность циркуляции и другие параметры) оценивалась удельная производительность процесса.

Экстрагирование выполнялось следующим способом: черный рис смешивали с экстрагентом – водой при гидромодуле черный рис: вода 1: 4–1: 6 и осуществляли процесс методом реперколяции при температуре экстрагента 30–40 °С с использованием ультразвукового воздействия на экстракционную смесь частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² в течение 70–120 мин при постоянном циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 15–25 объемов/час. Удельная производительность по экстракту составляла 10–15 кг/(м³·ч).

С целью интенсификации процесса экстракции антоцианов из черного риса и разработки рационального режима экстракции целевой функцией выбрана удельная производительность G , кг/(м³·ч), которая определяется отношением массы сухих веществ $M_{С.В. экс}$, кг в полученном экстракте к производству объема полученного экстракта $V_{экс}$, м³ и времени процесса τ , ч:

$$G = M_{С.В. экс} / (V_{экс} \cdot \tau). \quad (3)$$

Выполнена экспериментальная оценка влияния основных факторов на кинетику экстракции и целевую функцию при мощности ультразвукового излучения 400 ВА. С целью оценки влияния гидромодуля на удельную производительность использовано отношение массы сырья $M_{сырья}$, кг к массе экстрагента $M_{экстр}$, кг.

Результаты расчетов целевой функции при различных вариантах значений влияющих факторов – отношение $M_{сырья} / M_{экстр}$ (0,1667; 0,2 и 0,25) и температура экстрагента в Кельвинах T , К (303; 308 и 313 К) и последующая математическая обработка позволили установить следующую эмпирическую зависимость:

$$\begin{aligned} G(T, M_{сырья} / M_{экстр}) = & (-0,85891382 \cdot T^2 + 529,25643882 \cdot T - \\ & - 81506,086884) \cdot (M_{сырья} / M_{экстр})^2 + \\ & + (0,29976076 \cdot T^2 - 184,6437972 \cdot T + 28427,67160064) \cdot (M_{сырья} / M_{экстр}) + \\ & + (-0,02721142 \cdot T^2 + 16,76111502 \cdot T - 2580,42696028) \end{aligned} \quad (4)$$

Уровни и диапазоны варьирования факторов установлены в ходе предварительных исследований из условия получения значений удельной производительности процесса, соответствующих при условии масштабного перехода к промышленному производству.

Максимум целевой функции $G = 0,645$ кг/(м³·ч) достигается при $M_{сырья} / M_{экстр} = 0,25$ и температуре экстракционной смеси $T = 308$ К, что соответствует рациональному режиму.

Таким образом, наибольшее содержание сухих веществ в экстрактом растворе достигается в рациональном режиме при гидромодуле черный рис: вода 1: 4 и температуре экстрагента 35 °С с использованием ультразвукового воздействия на экстракционную смесь мощностью 400 ВА, частотой 22 кГц и интенсивностью 50 Вт/см² в течение 70 мин. Рациональный режим соответствует максимальной удельной производительности.

После экстракции экстракт отделяли от риса фильтрованием, проводили концентрирование путем вакуум-выпаривания экстракта при температуре 30–40 °С и остаточном давлении ≤ 4 кПа до содержания сухих веществ 10–15 %, а затем направляли на распылительную сушку.

Для обоснования режимов распылительной сушки экстракта черного риса проведены исследования кинетики процесса сушки, и дана оценка удельной производительности сушильной камеры при различном сочетании режимных параметров. Удельная производительность рабочего объема сушильной камеры по высушенному продукту достигала 3 кг/(м³·ч). Установлено, что эффективную сушку экстракта необходимо осуществлять при температуре 140–160 °С. Полученный сухой экстракт представляет собой однородный тонкодисперсный порошок влажностью не более 5,0 %.

Для образцов экстракта оптическая плотность составляла $A = 1,65–1,91$ ед. опт. пл. и в результате расчетов установлено, что сухой экстракт черного риса является антоциановым пищевым красителем с массовой долей красящего вещества $X = 5,6–6,4$ %.

Фотографии исходного сырья и экспериментальных образцов представлены на рис. 1.

В таблице приведены органолептические показатели экстракта черного риса, полученного при рациональных режимах экстракции и распылительной сушки.

На основе обобщения полученных результатов исследований и с учетом необходимости выполнения ряда технологических операций предложен способ получения сухого экстракта черного риса, основанный на ра-

циональном сочетании взаимозависимых процессов:

- **Формирование экстракционной смеси – дозирование и смешивание сырья и экстрагента.** 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.

- **Экстракция.** Для извлечения водорас-

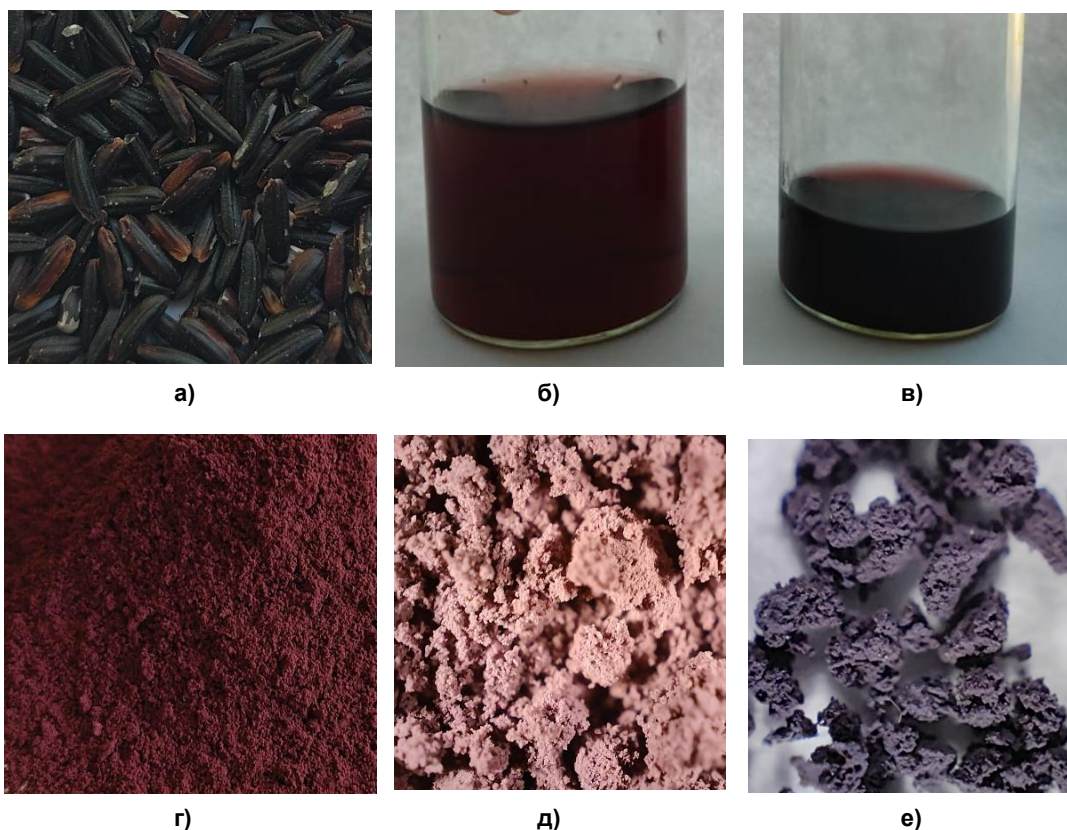


Рис. 1. Исходное сырье и экспериментальные образцы:
а) черный рис; б) экстракт черного риса; в) концентрированный экстракт черного риса;
г) экстракт черного риса (сухая форма); д) антоциановый краситель из риса сорта «Мулатка»
(при увеличении 20х); е) антоциановый краситель из риса сорта «Южная ночь»
(при увеличении 20х)

Органолептические показатели экстракта черного риса

Наименование показателя	Характеристика показателя
Внешний вид	Однородный порошок без сбившихся комочков и посторонних примесей
Запах	Чистый, свойственный запаху риса, без посторонних запахов
Вкус	Кислый или слабокислый, слегка терпкий, без посторонних привкусов
Цвет	От темно-красного до темно-фиолетового

творимых 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.

• **Фильтрация.** По завершению процесса экстракции полученную смесь разделяют на твердую фракцию – отработанный рис и жидкую фракцию – экстракт. Рис отправляется на дальнейшую переработку (для получения рисовой муки, крахмала, кормовой продукции и др.).

• **Концентрирование.** Концентрирование экстракта проводят путем вакуум-выпаривания при температуре 30–40 °С и остаточном давлении ≤ 4 кПа до содержания сухих веществ в концентрате 10–15 %.

• **Сушка.** После концентрирования проводят распылительную сушку концентрата при температуре воздуха 140–160 °С для получения экстракта в форме тонкодисперсного порошка влажностью не более 5,0 %. Полученный порошок дозируют, фасуют и складывают.

Разработанная для реализации способа машинно-аппаратурная схема представлена на рис. 2.

Машино-аппаратурная схема позволяет спроектировать промышленное предприятие или производственный участок по выпуску сухой формы экстракта черного риса для его последующего использования в качестве функциональной добавки и натурального пищевого красителя с учетом принятой производительности и норм технологического проектирования организаций по производству пищевой продукции, в том числе для обеспечения поточности технологических процессов и отсутствия встречных и перекрещивающихся потоков сырья и готовой продукции.

Вывод

На основе обобщения результатов собственных экспериментально-аналитических исследований, а также принимая во внимание данные анализа научно-технической литературы и патентной информации, предложен способ получения сухой формы экстракта черного риса для его последующего использования в качестве функциональной добавки и натурального пищевого красителя, разрабо-

таны технологическая и машинно-аппаратурная схемы производства. Способ основан на рациональном сочетании взаимозависимых процессов формирования экстракционной смеси, экстракции, фильтрации, вакуум-выпаривания и распылительной сушки. Стадию экстракции рекомендовано осуществлять при ультразвуковой обработке экстракционной смеси. Сушку концентрированного экстракта (концентрата) рекомендовано выполнять распылительным способом.

Предлагаемый способ может быть применен в пищевой промышленности для производства натурального пищевого красителя и его использования для окрашивания широкого ассортимента пищевой продукции (соусов, теста, мастики, марципана, шоколада, мороженого и других продуктов).

Наши дальнейшие исследования будут посвящены идентификации и количественному определению антоциановых пигментов, выделенных из различных сортов окрашенного риса.

Также в будущих исследованиях планируется разрабатывать микрокапсулированные антоцианы с улучшенной биодоступностью, стабильностью и новыми характеристиками в качестве компонентов для обогащения продуктов питания, поскольку применение инкапсулированных пигментов в пищевой промышленности открывает новые горизонты в разработке функциональных пищевых продуктов.

Кроме того, в последние десятилетия растёт интерес к разработке интеллектуальных систем упаковки, которые могут отслеживать качество продуктов в режиме реального времени, особенно те, которые используют изменение цвета для непосредственного определения свежести. Однако химические индикаторы сопряжены с определёнными рисками, связанными с безопасностью пищевых продуктов и экологической устойчивостью. В результате растёт интерес к использованию натуральных пигментов в качестве красителей. В этой связи антоцианы, демонстрирующие заметные изменения цвета в зависимости от pH среды, актуальны для использования в качестве индикаторов в многофункциональных биополимерных упаковочных материалах.

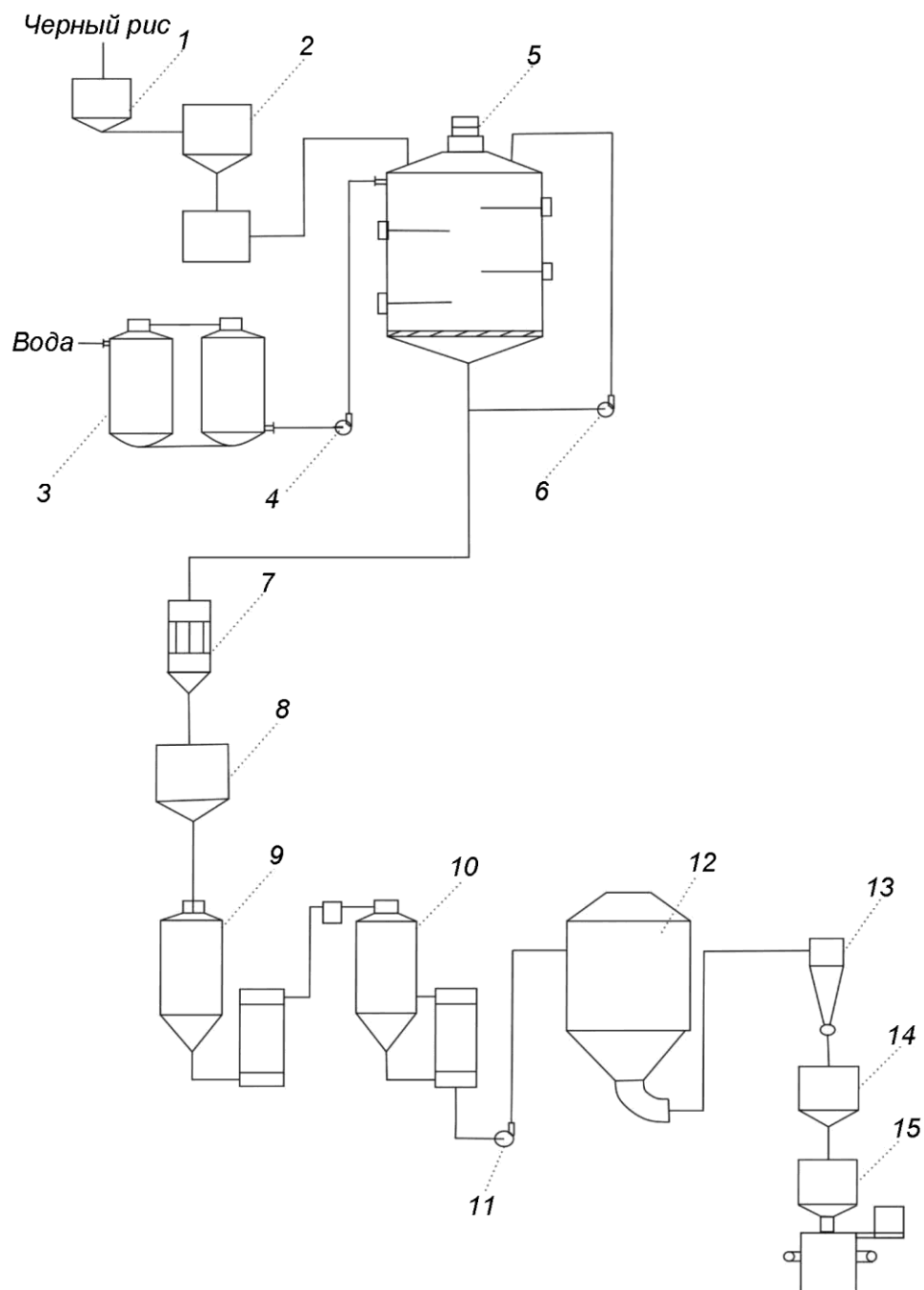


Рис. 2. Машинно-аппаратурная схема производства экстракта черного риса
1 – приемный бункер; 2 – весовой дозатор; 3 – водоподготовка; 4, 6, 11 – насос;
5 – экстрактор; 7 – фильтрующее устройство; 8, 14 – приемный бункер;
9, 10 – вакуум-выпарная установка; 12 – распылительная сушилка;
13 – циклон; 15 – фасовочное устройство

Список литературы

1. Антиоксиданты растительного происхождения и их нетрадиционные источники (обзор) / Ю.К. Гончарова, С.В. Гончаров, Е.М. Харитонов [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59, № 1. С. 39–53.
2. Антоцианы. Методы определения антоцианов / А.В. Апрельев, Е.В. Давыдова, В.А. Смирнов, А.Л. Панасюк // Наука и мир. 2018. № 3-1(55). С. 3239.
3. Антоцианы в пищевых технологиях и биотехнологиях: монография / Н.Ю. Чеснокова, Ю.В. Приходько, Т.К. Каленик. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2021. 146 с.
4. Антоцианы как натуральные пищевые красители и новые источники растительного сырья для их получения / З.Н. Тарова, М.Л. Дубровский, А.В. Кружков, Н.Л. Чурикова // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2021. Т. 24. С. 143–146.
5. Болотов В.М., Саввин П.Н. Эффективность процесса экстракции антоциановых пигментов при различных условиях обработки растительного сырья // Вестник Воронежской государственной технологической академии. 2009. № 1(39). С. 14–18.
6. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения // Пищевые системы. 2023. Т. 6, № 1. С. 80–94.
7. Велямов Ш.М., Джингилбаев С.С., Актерян С.Г. Совершенствование процесса переработки растительного сырья с целью извлечение пектина на экстракторе // Новости науки Казахстана. 2018. № 1(135). С. 117–134.
8. Гагарина И.Н. Изучение биологической активности антоцианов фасоли // Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов: материалы докладов IX Всероссийской научно-практической конференции, с международным участием, Махачкала, 21 мая 2021 года. Махачкала: Дагестанский государственный педагогический университет, 2021. С. 237–239.
9. Горбунова Н.В., Евтеев А.В., Банникова А.В. Изучение процесса экстракции антоцианов из продуктов комплексной переработки растительного сырья // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 23–24 марта 2017 года. Том II. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2017. С. 181–184.
10. Гугучкина Т.И., Лепешкина С.В., Попов В.П. Технологические аспекты получения и применения натуральных красителей // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 71(5). С. 266–277.
11. Евсеева С.С. Разработка способа получения экстракта из тутовых плодов и совершенствование процесса его сушки: специальность 05.18.12: дис. ... канд. техн. наук. 2022. 203 с.
12. Изучение влияния различных способов оптимизации экстракции на выход антоцианов из плодов дикорастущего сырья / Т.Н. Даудова, Л.А. Даудова, А.К. Курбаналиева [и др.] // Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 1(21). С. 226–230.
13. Исследование возможности получения антоцианового красителя из картофеля / А.М. Захаренко, К.С. Голохваст, О.В. Голуб, О.К. Мотовилов // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 4. С. 76–86.
14. Климова Е.В. Интенсификация экстрактивных процессов в крепленых розовых винах // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2007. № 2. С. 539.
15. Математическая модель и оптимизация процесса экстракции антоцианов из плодов дикорастущего сырья / В.В. Пиняскин, Т.Н. Даудова, Л.А. Даудова, Э.З. Зейналова // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 23–24 октября 2018 года. Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2018. С. 88–91.
16. Некоторые закономерности экстракции антоцианов из растительных источников / Я.Ю. Саласина, Д.А. Калинкин, В.И. Дейнека, Л.А. Дейнека // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10, № 4(35). С. 691–699.
17. Оценка качества УЗ-экстрактов из клюквы / Н.С. Родионова, М.В. Мануковская, М.В. Серченя, А.А. Бабенко // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 1(71). С. 200–204.

18. Патент № 2008314 С1 Российская Федерация, МПК С09В 61/00. способ получения антоцианового красителя: № 4950203/13: заявл. 26.06.1991: опубл. 28.02.1994 / В.М. Болотов, В.С. Черепнин, Л.А. Янова; заяв. Малое предприятие Научно-производственной фирмы «Спектр».
19. Патент № 2624416 С1 Российская Федерация, МПК С09В 61/00, А23L 5/40. Способ получения и состав для получения сухих форм антоцианов методом распылительной сушки: № 2016103774: заявл. 05.02.2016: опубл. 03.07.2017 / В.И. Дейнека, Л.А. Дейнека, М.О. Костенко [и др.]; заявитель ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»).
20. Патент № 2672396 С1 Российская Федерация, МПК С09В 61/00, А23L 33/105, А23L 19/12. способ получения антоцианов из растительного сырья: № 2018107289: заявл. 28.02.2018: опубл. 14.11.2018 / Е.В. Флисюк, В.Г. Лужанин, И.Е. Каухова [и др.]; заявитель ООО «Шашевское».
21. Патент № 2719784 С1 Российская Федерация, МПК С09В 61/00, А23L 5/43. Способ получения сухих форм антоцианов с использованием двухступенчатой экстракции: № 2019119243: заявл. 20.06.2019: опубл. 23.04.2020 / М.Е. Деревяшкина, В.В. Казенина, Е.И. Большакова; заявитель ООО «Грумант».
22. Патент № 2821039 С1 Российская Федерация, МПК А23L 33/105, А23L 19/00. Способ производства водно-глицеринового экстракта из плодов рябины обыкновенной: № 2023114912: заявл. 06.06.2023: опубл. 17.06.2024 / С.И. Данилин, А.Г. Троянов, В.А. Кольцов, А.С. Печуркин; заявитель ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет».
23. Производство натурального антоцианового красителя из вторичных ресурсов плодового виноделия / А.Л. Панасюк, Е.И. Кузьмина, О.С. Егорова [и др.] // Пиво и напитки. 2021. № 3. С. 33–37.
24. Рубцова Л.Н., Сорокин В.В., Касьяненко Е.Ф. Экстрагирование из твердых веществ // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 203–209.
25. Саввин П.Н., Игнатова К.С., Ломакина А.Э. Особенности выделения антоцианов спиртами алифатического ряда // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2(64). С. 171–174.
26. Ультразвуковой экстрактор для растительного сырья / О.И. Коннова, О.В. Золотовская, Ю.А. Максименко, С.А. Свирина // Наука и практика – 2023: материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции, Астрахань, 13–17 ноября 2023 года. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2024. С. 253–254.
27. Ханько П.Н., Брайкова А.М. Спектрофотометрическое определение содержания антоцианов в винограде // Современный механизм функционирования торгового бизнеса и туристической индустрии: реальность и перспективы: материалы III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Минск: УО «Белорусский государственный экономический университет», 2019. С. 396–398.
28. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Шакура В.А. Многочастотный ультразвуковой экстрактор для переработки сельскохозяйственных отходов // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: IV Международная научная экологическая конференция (с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины), Краснодар, 24–25 марта 2015 года / редкол.: А.И. Трубилин, С.А. Шоба, А.Г. Коцаев и др. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2015. Т. 1. С. 405–410.
29. Andersen O. M., Jordheim M. The anthocyanins // Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. P. 452–471.
30. Anjum Zerine Rupa, Abu Torab M.A. Rahim, Md. Hemayet Hossain, Khondoker Shahin Ahmed, Nutritional, phytochemical and antioxidant properties of Bangladeshi pigmented rice (red and black), grains and pseudograins // Food Chemistry Advances. 2025. Vol. 6.
31. Ultrasound assisted extraction of polyphenols from black chokeberry / L. Galvan D'alessandro, K. Kriaa, I. Nikov, K. Dimitrov // Separation and Purification Technology. 2012. Vol. 93. P. 42–47.
32. Vega Arroyo & Ruiz Hector & Luna Guevara, et al. Effect of solvents and extraction methods on total anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant capacity of *Renealmia alpinia* (Rottb.) // Maas peel. Czech Journal of Food Sciences. 2017. Vol. 35. DOI: 10.17221/316/2016-CJFS.

References

1. Goncharova Yu.K., Goncharov S.V., Kharitonov E.M. et al. Plant-based antioxidants and their non-traditional sources (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2024, vol. 59, no. 1, pp. 39–53. (In Russ.)
2. Aprelev A.V., Davydova E.V., Smirnov V.A., Panasyuk A.L. Anthocyanins. Methods for the determination of anthocyanins. *Nauka i mir*, 2018, no. 3-1(55), p. 3239. (In Russ.)
3. Chesnokova N.Yu., Prikhod'ko Yu.V., Kalenik T.K. *Antotsiany v pishchevykh tekhnologiyakh i biotekhnologiyakh* [Anthocyanins in food technologies and biotechnologies]. Vladivostok, 2021. 146 p.
4. Tarova Z.N., Dubrovskiy M.L., Kruzhkov A.V., Churikova N.L. Anthocyanins as natural food dyes and new sources of plant raw materials for their production. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy*, 2021, vol. 24, pp. 143–146. (In Russ.)
5. Bolotov V.M., Savvin P.N. The efficiency of the anthocyanin pigment extraction process under various processing conditions of plant raw materials. *Vestnik Voronezhskoy gosudarstvennoy tekhnologicheskoy akademii*, 2009, no. № 1(39), pp. 14–18. (In Russ.)
6. Burak L.Ch., Sapach A.N. Biologically active substances of elderberry: properties, methods of extraction and preservation. *Pishchevye sistemy*, 2023, vol. 6, no. 1, pp. 80–94. (In Russ.)
7. Velyamov Sh.M., Dzhingilbaev S.S., Akteryan S.G. Improvement of the process of processing plant raw materials in order to extract pectin on the extractor. *Novosti nauki Kazakhstana*, 2018, no. 1(135), pp. 117–134. (In Russ.)
8. Gagarina I.N. Studying the biological activity of bean anthocyanins. *Bioraznoobrazie i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnykh resursov* [Biodiversity and rational use of Natural resources]. Makhachkala, 2021, pp. 237–239. (In Russ.)
9. Gorbunova N.V., Evteev A.V., Bannikova A.V. Study of the process of anthocyanin extraction from products of complex processing of plant raw materials. *Innovatsionnye idei molodykh issledovateley dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii*. Penza, 2017, vol. 2, pp. 181–184. (In Russ.)
10. Guguchkina T.I., Lepeshkina S.V., Popov V.P. Technological aspects of the production and application of natural dyes. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*, 2021, no. 71(5), pp. 266–277. (In Russ.)
11. Evseeva S.S. *Razrabotka sposoba polucheniya ekstrakta iz tutovykh plodov i sovershenstvovanie protsessy ego sushki* [Development of a method for obtaining an extract from mulberry fruits and improvement of its drying process]. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2022. 203 p.
12. Daudova T.N., Daudova L.A., Kurbanalieva A.K. et al. Study of the effect of various extraction optimization methods on the yield of anthocyanins from wild fruits. *Izvestiya Dagestanskogo GAU*, 2024, no. 1(21), pp. 226–230. (In Russ.)
13. Zakharenko A.M., Golokhvast K.S., Golub O.V., Motovilov O.K. Investigation of the possibility of obtaining anthocyanindye from potatoes. *Industriya pitaniya*, 2021, vol. 6, no. 4, pp. 76–86. (In Russ.)
14. Klimova E.V. Intensification of extractive processes in for tifie dpink wines. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost'* [Food and processing industry], 2007, no. 2, p. 539. (In Russ.)
15. Pinyaskin V.V., Daudova T.N., Daudova L.A., Zeynalova E.Z. Mathematical model and optimization of the anthocyanin extraction process from wild fruits. *Povyshenie kachestva i bezopasnosti pishchevykh produktov* [Improving the quality and safety of food products]. Makhachkala, 2018, pp. 88–91. (In Russ.)
16. Salasina Ya.Yu., Kalinikin D.A., Deyneka V.I., Deyneka L.A. Some patterns of anthocyanin extraction from plant sources. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [], 2020, vol. 10, no. 4(35), pp. 691–699. (In Russ.)
17. Rodionova N.S., Manukovskaya M.V., Serchenya M.V., Babenko A.A. Evaluation of the quality of ultrasound extracts from cranberries. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2017, vol. 79, no. 1(71), pp. 200–204. (In Russ.)
18. Bolotov V.M., Cherepnin V.S., Yanova L.A. *Patent № 2008314 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C09B 61/00. Sposob polucheniya antotsianovogo krasitelya* [Patent No.2008314 C1 Russian Federation. The method of obtaining anthocyanin dye]. The applicant is a small enterprise of the Scientific and Production company Spectrum.

19. Deyneka V.I., Deyneka L.A., Kostenko M.O. et al. *Patent № 2624416 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C09B 61/00, A23L 5/40. Sposob polucheniya i sostav dlya polucheniya sukhikh form antotsianov metodom raspylitel'noy sushki* [Method of preparation and composition for obtaining dry forms of anthocyanins by spray drying. Patent No. 2624416 C1 Russian Federation]. Applicant Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Belgorod State National Research University (NRU “BelSU”), 2017.

20. Flisyuk E.V., Luzhanin V.G., Kaukhova I.E. et al. *Patent № 2672396 C1 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob polucheniya antotsianov iz rastitel'nogo syr'ya* [Patent No. 2672396 C1 Russian Federation. The method of obtaining anthocyanins from vegetable raw materials]. The applicant is Ostashevskoye Limited Liability Company, MPK C09B 61/00, A23L 33/105, A23L 19/12.

21. Derevyashkina M.E., Kazenina V.V., Bol'shakova E.I. *Patent № 2719784 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C09B 61/00, A23L 5/43. Sposob polucheniya sukhikh form antotsianov s ispol'zovaniem dvukhstupenchatoy ekstraktsii* [Patent No. 2719784 C1 Russian Federation. A method for obtaining dry forms of anthocyanins using two-stage extraction]. The applicant is Grumant Limited Liability Company, 2020.

22. Danilin S.I., Troyanov A.G., Koltsov V.A., Pechurkin A.S. *Patent № 2821039 C1 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob proizvodstva vodno-glitserinovogo ekstrakta iz plodov ryabiny obyknovennoy* [Patent No. 2821039 C1 Russian Federation. Method of production of water-glycerin extract from the fruits of mountain ash]. MPK A23L 33/105, A23L 19/00: № 2023114912. The applicant is the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State Agrarian University”.

23. Panasyuk A.L., Kuz'mina E.I., Egorova O.S. et al. Production of natural anthocyanin dye from secondary resources of fruit winemaking. *Pivo i napitki*, 2021, no. 3, pp. 33–37. (In Russ.)

24. Rubtsova L.N., Sorokin V.V., Kas'yanenko E.F. Extraction from solids. *Polzunovskiy vestnik*, 2023, no. 3, pp. 203–209. (In Russ.)

25. Savvin P.N., Ignatova K.S., Lomakina A.E. Features of the isolation of anthocyanins by aliphatic alcohols. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*, 2015, no. 2(64), pp. 171–174. (In Russ.)

26. Konnova O.I., Zolotovskaya O.V., Maksimenko Yu.A., Svirina S.A. Ultrasonic extractor for vegetable raw materials. *Nauka i praktika – 2023* [Science and Practice]. Proceedings of the All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference. Astrakhan', 2024, pp. 253–254. (In Russ.)

27. Khan'ko P.N., Braykova A.M. Spectrophotometric determination of anthocyanin content in grapes. *Sovremennyy mekhanizm funktsionirovaniya torgovogo biznesa i turisticheckoy industrii: real'nost' i perspektivy* [The modern mechanism of functioning of the trade business and the tourism industry: reality and prospects], Minsk, 2019, pp. 396–398. (In Russ.)

28. Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Shakura V.A. Multi-frequency Ultrasonic Extractor for Agricultural Waste Recycling. *Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production], Krasnodar, 2015, vol. 1, pp. 405–410. (In Russ.)

29. Andersen O.M., Jordheim M. The anthocyanins. *Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006, pp. 452–471.

30. Anjum Zerine Rupa, Abu Torab M.A. Rahim, Md. Hemayet Hossain, Khondoker Shahin Ahmed, Nutritional, phytochemical and antioxidant properties of Bangladeshi pigmented rice (red and black), grains and pseudograins. *Food Chemistry Advances*, 2025, vol. 6.

31. Galvan D'alessandro L., Kriaa K., Nikov I., Dimitrov K. Ultrasound assisted extraction of polyphenols from black chokeberry. *Separation and Purification Technology*, 2012, vol. 93, pp. 42–47.

32. Vega Arroyo & Ruiz Hector & Luna Guevara, et al. Effect of solvents and extraction methods on total anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant capacity of *Renealmia alpinia* (Rottb.). *Maas peel. Czech Journal of Food Sciences*, 2017, vol. 35. DOI: 10.17221/316/2016-CJFS.

Информация об авторах

Золотовская Ольга Валерьевна, аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», ассистент кафедры «Технологические машины и оборудование», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия; olazoloto@bk.ru

Коннова Ольга Ивановна, ассистент кафедры «Технологические машины и оборудование», Астраханский государственный технический университет Астрахань, Россия; okonnova88@gmail.com

Неповинных Наталия Владимировна, профессор кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия; nneovinnykh@yandex.ru

Максименко Юрий Александрович, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия; amxs1@yandex.ru

Information about the authors

Olga V. Zolotovskaya, graduate student of the Department of Technological Machines and Equipment, assistant of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; olazoloto@bk.ru

Olga I. Konnova, assistant of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; okonnova88@gmail.com

Nataliya V. Nepovinnykh, professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia; nneovinnykh@yandex.ru

Yuri A. Maksimenko, professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; amxs1@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 06.05.2025

The article was submitted 06.05.2025