

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-335-342>

Поступила 20.02.2025

Поступила после рецензирования 24.07.2025

Принята в печать 28.07.2025

© Зинина О. В., Вишнякова Е. А., Науменко Н. В., Ребезов М. Б., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ВИШНЕВОГО ЖМЫХА

Зинина О. В.^{1*}, Вишнякова Е. А.¹, Науменко Н. В.¹, Ребезов М. Б.²¹Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

вишня, вишневый
жмых, экстракция,
ферментация,
оптимизация

Ежегодно сокоперерабатывающие предприятия производят тонны ягодного жмыха, содержащего в себе массу полезных веществ, среди которых огромное место занимают полифенольные вещества, обладающие антиоксидантными свойствами. Извлечение веществ с антиоксидантными свойствами из данного сырья является перспективным направлением для создания функциональных ингредиентов для продуктов питания. Целью исследований является установление оптимальных параметров экстракции полифенольных соединений из жмыхов ягод вишни. Для определения оптимальных условий процесса экстракции использовали двухфакторный эксперимент. Зависимыми переменными являлись содержание полифенолов и флавоноидов, варьируемыми факторами — продолжительность (от 10 до 50 мин) и температура экстракции (от 40 до 60 °С). Экстракцию проводили 50%-ным раствором этанола. Опытные образцы жмыхов перед экстракцией подвергали ферментной обработке целлюлазой в течение 1 ч при температуре 50 °С. У полученных экстрактов определяли содержание флавоноидов спектрофотометрически, а также полифенолов методом Фолина-Чокальтеу. Результаты исследований показали, что для наиболее эффективной экстракции флавоноидов рекомендуется использовать температуру экстракции 47,17 °С, а период экстракции составляет 49,9 мин. При данных параметрах прогнозируемое суммарное содержание флавоноидов в пересчете на рутин составит 5,22 %. Для достижения содержания полифенолов 1,21 мг экв. галловой кислоты температуру экстракции рекомендуется поддерживать на уровне 49,8 °С, а период экстракции составит 38,1 мин. Содержание полифенолов в экстрактах, полученных по оптимальным параметрам, составило на 4,5 % выше прогнозируемого значения, а флавоноидов — на 5 % ниже. Содержание биофлавоноидов после ферментной обработки жмыха увеличилось примерно в 2 раза, а полифенолов — в 1,4 раза. Таким образом, математическое моделирование процесса экстракции позволяет быстро и достаточно точно спрогнозировать оптимальные параметры процесса для получения экстрактов с высоким содержанием биоактивных веществ. Предварительная ферментная обработка жмыха позволяет повысить выход биоактивных веществ.

Received 20.02.2025

Accepted in revised 24.07.2025

Accepted for publication 28.07.2025

© Zinina O. V., Vishnyakova E. A., Naumenko N. V., Rebezov M. B., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

OPTIMIZATION OF THE EXTRACTION PROCESS OF BIOACTIVE SUBSTANCES FROM CHERRY POMACE

Oksana V. Zinina^{1*}, Elena A. Vishnyakova¹, Natalia V. Naumenko¹, Maksim B. Rebezov²¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia²V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

KEY WORDS:

cherry, cherry
pomace, extraction,
fermentation,
optimization

ABSTRACT

Every year juice processing plants produce tons of berry pomace containing a lot of useful substances. A huge place among them is occupied by polyphenolic substances with antioxidant properties. Extraction of substances with antioxidant properties from this raw material is a promising direction for the creation of functional ingredients for food products. The aim of the research is to establish the optimal parameters for the extraction of polyphenolic compounds from cherry berry pomace. A two-factor experiment was used to determine the optimal conditions for the extraction process. The dependent variables were the content of polyphenols and flavonoids, and the variable factors were the duration (from 10 to 50 min) and temperature of extraction (from 40 to 60 °C). Extraction was carried out with a 50 % ethanol solution. Before extraction, the experimental samples of pomace were subjected to enzymatic treatment with cellulase for 1 hour at a temperature of 50 °C. The obtained extracts were analyzed for flavonoid content spectrophotometrically, as well as polyphenols using the Folin-Ciocalteu method. The results of the studies showed that for the most effective extraction of flavonoids, it is recommended to use an extraction temperature of 47.17 °C, and the extraction period is 49.9 min. With these parameters, the predicted total flavonoid content in terms of rutin will be 5.22 %. To achieve a polyphenol content of 1.21 mg equiv. of gallic acid, it is recommended to maintain the extraction temperature at 49.8 °C with the extraction period of 38.1 min. The content of polyphenols in the extracts obtained according to the optimal parameters was 4.5 % higher than the predicted value, and content of flavonoids was 5 % lower. The content of bioflavonoids after enzymatic treatment of the pomace increased approximately 2 times, and polyphenols 1.4 times. Thus, mathematical modeling of the extraction process allows for quick and fairly accurate prediction of the optimal process parameters for obtaining extracts with a high content of bioactive substances. Preliminary enzymatic treatment of pomace allows for an increase in the yield of bioactive substances.

1. Введение

Промышленная переработка сельскохозяйственного сырья влечет за собой образование большого количества вторичных ресурсов, которые в настоящее время не всегда эффективно используются.

Производство соков и других напитков из плодов, ягод и овощей является значимой частью пищевой промышленности Российской Федерации. Соки получают путем механического воздействия на сырье, а также консервацией физическими способами. При производстве

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зинина, О. В., Вишнякова, Е. А., Науменко, Н. В., Ребезов, М. Б. (2025). Оптимизация процесса экстракции биоактивных веществ из вишневого жмыха. *Пищевые системы*, 8(3), 335–342. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-335-342>

FOR CITATION: Zinina, O. V., Vishnyakova, E. A., Naumenko, N. V., Rebezov, M. B. (2025). Optimization of the extraction process of bioactive substances from cherry pomace. *Food Systems*, 8(3), 335–342. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-335-342>

соков все составные водорастворимые элементы (витамины, сахара, минеральные вещества) практически полностью переходят в сок, а нерастворимые (клетчатка, каротиноиды, липиды и др.) в большей степени остаются в жмыхах. Таким образом, жмыхи — это натуральный побочный продукт высокой влажности, оставшийся в результате экстракции при переработке фруктов, овощей и других видов сырья и обладающий высокой пищевой ценностью.

Отходы данного производства находят применение в изготовлении различных видов напитков, в виде обогащающих добавок в различные продукты питания. Однако это лишь малая часть от всего объема данного вида отходов. Большая же часть идет на корм скоту или перерабатывается на удобрения. В настоящее время существует потребность в комплексной переработке вторичного растительного сырья, оставляемого после различных видов обработки фруктов, ягод и овощей [1].

Вишня — высокоценная и наиболее распространенная косточковая культура, что обусловлено неповторимым вкусом ее плодов, пригодностью к большому виду переработки и биологическими особенностями, определяющими ее выращивание практически во всех зонах садоводства России.

По объемам выращивания и сбора вишни Российская Федерация является одной из стран-лидеров. Жители России высоко ценят характерный кисло-сладкий вкус этой ягоды. Соки, морсы и другие напитки из плодов вишни также пользуются большим спросом.

В зависимости от сорта вишни выход сока может варьироваться от 67 % до 84 % от изначальной массы сырья. Другими словами, в процессе производства вишневого сока образуется порядка 160–330 кг на 1 т сырья. Данные отходы в основном идут на корм скоту, что является колоссальной тратой ценного ресурса, поскольку огромная часть полезных веществ остается в выжимках [2].

Менее половины (порядка 35 %) ежегодно выращиваемой вишни непосредственно употребляется в пищу. Остальная часть ягод перерабатывается до пюре, варенья, мармелада, компота, концентратов и соков, препаратов для использования кондитерскими или молочными предприятиями, например, в ароматической выпечке, йогурте и подобных продуктах [3].

Плоды вишни — богатый источник полифенольных веществ. Особую ценность представляют сорта с темноокрашенными ягодами, богатыми антоцианами. По их содержанию черноплодные сорта вишни мало уступают черной смородине. Необходимо отметить, что антоцианы вишни распределены по всей мякоти, а не сосредоточены в кожице, как у черной смородины.

В Таблице 1 представлены усредненные значения биохимических характеристик разных сортов вишни.

Таблица 1. Усредненные значения биохимического состава плодов вишни [4,5]

Table 1. Average values of the biochemical composition of cherry fruits [4,5]

Показатель	Среднее содержание
Растворимые сухие вещества, %	17,3
Сахара (сумма), %	10,4
Титруемая кислотность, %	1,56
Аскорбиновая кислота, мг/100г	15,8
Сахарокислотный индекс	7,0
Катехины, мг/100 г	334
Антоцианы, мг/100 г	155,4

Полифенолы — это уникальные фенольные соединения, содержащее большое количество гидроксильных и карбоксильных структур. Пищевые полифенолы включают фенольные кислоты и флавоноиды, которые представляют собой очень большой класс, состоящий из флавонов, флавонолов, дигидрофлавонолов, изофлавонов, антоцианидинов и проантоцианидинов. Эти соединения отвечают за полезные для здоровья свойства фруктов, включая их антиоксидантные, противовоспалительные и антигипертензивные свойства [6,7].

Полифенолы, полученные из экстрактов вишни, способны снижать рост *Salmonella* и *E. Coli*, а также ингибировать развитие *Listeria* spp. [8].

Известно, что соединения полифенольной природы способны ингибировать окисление липидов в подсолнечном масле за счет своих антиоксидантных свойств [9]. Наноэмульсии полифенолов, используемые в качестве покрытия и консерванта, способны не только ингибировать микробное загрязнение, но и подавлять окисление липидов и образование нежелательных побочных продуктов метаболизма, тем самым продлевая срок годности продукта [10]. Нату-

ральные полифенольные соединения (фитохимикаты) могут быть использованы в качестве потенциальных белковых сшивающих, противопожарных, антимикробных и антиоксидантных агентов для улучшения или поддержания качества водных продуктов. Полифенолы в форме натурального сырого экстракта или в чистом виде являются потенциальными альтернативами синтетическим добавкам для предотвращения ухудшения качества и окисления в водных пищевых системах/продуктах [11].

В многочисленных классах вторичных растительных метаболитов флавоноиды представляют собой полифенольный подкласс с уникальными свойствами, повсеместно распространенный в растительном мире, в большинстве тканей растений (листья, плоды, цветы, семена и т. д.). Важность молекул флавоноидов для здоровья человека связана с их применимостью в таких областях, как фармацевтическая и косметическая промышленность, а также с их питательным и нутрицевтическим потенциалом [12].

Шесть из двенадцати структурно различных подгрупп флавоноидов имеют диетическое значение и включают антоцианидины (например, пеларгонидин, цианидин), флаван-3-олы (например, эпикатехин, эпигаллокатехин), флавонолы (например, кверцетин, кемпферол), флавоны (например, лютеолин, байкалеин), флаваноны (например, гесперетин, нарингенин) и изофлавоны (даидзеин, генистеин).

Полезность флавоноидов для здоровья связана с их структурными характеристиками, такими как количество и положение гидроксильных групп и наличие двойных связей C2 C3, которые определяют их способность хелатировать ионы металлов, прекращать образование активных форм кислорода и взаимодействовать с биологическими мишенями, вызывая биологическую реакцию. На основании этих структурных характеристик флавоноиды могут проявлять как антиоксидантные, так и прооксидантные свойства, модулировать активность ферментов, поглощающих активные формы кислорода [13].

Известно, что некоторые флавоноиды, в частности рутин, кверцетин, хризин, кемпферол, апигенин, нарингенин, силимарин, витексин и другие, проявляют противораковую активность на различных типах клеточных линий посредством различных механизмов, таких как остановка клеточного цикла, активация каспазы, и многих других [14].

Некоторые флавоноиды проявляют свою антибактериальную активность посредством подавления синтеза нуклеиновых кислот, нарушения функции цитоплазматической мембраны и энергетического обмена [15]. Биофлавоноид гесперетин может облегчить расстройство сна у пациентов с гипертонией [16].

Флавоноиды могут дополнять лекарства от гипертонии и гиперлипидемии, улучшая эндотелиальную функцию, снижая артериальное давление и уровень холестерина, тем самым способствуя здоровую сердечно-сосудистой системы [17].

Исследования показывают, что потребление продуктов, богатых флавоноидами, таких как черника, яблоки, красное вино, апельсины и чай, может способствовать здоровому старению [18].

Основными традиционными методами экстракции биоактивных веществ являются экстракция Сокслета, мацерация, отвар, настой и перколяция. Традиционно, на протяжении многих лет, эти методы были основным способом извлечения этих соединений из растительных тканей. Наиболее важным параметром, влияющим на выход и химический состав экстракта, в этих методах является тип растворителя. Наиболее распространенными растворителями, которые показывают самые высокие результаты экстракции, являются метанол, этанол и ацетон в концентрациях 60–80 %.

Другими параметрами, влияющими на выход экстракции, могут быть соотношение растворителя и твердого вещества, время и температура экстракции, размер частиц образца и степень перемешивания. Тем не менее эти методы имеют ряд существенных недостатков, таких как необходимость использования большого количества чистого растворителя и его недостаточная регенерация в конце процесса, длительное время экстракции, воздействие высоких температур в течение длительного периода времени, разрушение термочувствительных компонентов, низкая воспроизводимость и селективность.

В связи с недостатками традиционных методов извлечения исследователи сосредоточились на поиске новых технологий, обладающих меньшими ограничениями и большими преимуществами (Таблица 2).

В последние годы были разработаны инновационные и экологически безопасные технологии экстракции. Одной из таких технологий является экстракция «умными» растворителями, такими как растворители глубокого плавления или природные глубокие

Таблица 2. Современные способы экстракции биоактивных веществ из жмыхов
Table 2. Modern methods for extraction of bioactive substances from pomace

Способ экстракции биоактивных веществ из жмыхов	Суть метода	Источник
Фракционирование под высоким давлением	Метод предполагает использование CO ₂ на первой стадии, за которой следует экстракция растворителем с различными смесями CO ₂ и этанолом (10–100 % по объему) при температуре 50 °C и давлении 25 Мпа	[19]
Ультразвуковая экстракция	0,4 г свежего/сухого образца и 10 мл бидистиллированной воды добавляют в центрифужную пробирку объемом 15 мл, содержащую две стеклянные диаметром 3 мм для предотвращения осаждения образцов. Экстракцию проводят с использованием ультразвукового аппарата при следующих условиях: амплитуда 25 %, мощность 200 Вт, частота 20 кГц и время экстракции 9 мин. Для предотвращения перегрева и поддержания начальной температуры (20 ± 2 °C) экстракцию проводят в 60-секундных циклах с 10-секундными паузами, а экстракционную ячейку помещают в лед на протяжении всего процесса. Полученные смеси центрифугируют при 4000 × g в течение 10 мин при температуре 4 °C с последующей фильтрацией	[20]
Биопереработка с использованием природных глубоких эвтектических растворителей	1 г высушенных выжимок обрабатывают 10 г растворителей в течение 1 ч при температуре 50 °C. Затем смесь охлаждают до комнатной температуры, разбавляют MeOH/H ₂ O (70/30). Фильтруют для отделения нерастворенного остатка, который собирают и высушивают при 60 °C. Супернатант концентрируют при пониженном давлении для удаления MeOH, а затем используют полимерную смолу Amberlite XAD-7 для отделения фенольных соединений из водной фазы, содержащей растворители. Растворители собирают путем промывания абсорбированной полифенол-полимерной смолы водой. Полученную таким образом водную фракцию выпаривают при пониженном давлении. Затем после сушки смолы под потоком воздуха извлеченные полифенолы десорбируют из смолы с помощью MeOH. Затем метанольный экстракт выпаривают при пониженном давлении для извлечения полифенольных экстрактов в виде твердых остатков	[21]
Обработка холодной плазмой с дальнейшей экстракцией ультразвуком	Обработка холодной атмосферной плазмой лиофилизированного жмыха проводится с применением генератора плазмы, использующего технологию пьезоэлектрического прямого разряда. Генератор питается от постоянного напряжения 12 В с частотой 50 кГц. Для генерации плазмы используется атмосферный воздух. Воздействие на растительную матрицу реактивных видов, содержащихся в холодной плазме, разрушает эпидермальные клетки и вызывает экстракцию	[22]
Твердофазная ферментация с использованием пробиотических микроорганизмов	Отдельные штаммы инокулируют в яблочные выжимки в соотношении 5 % (w/w), после чего материалы помещают в конические колбы объемом 250 мл для твердофазной ферментации при температуре 37 °C в течение 48 ч	[23]
Ферментация выжимок молочнокислыми бактериями	Леофилизированные выжимки помещают в стеклянную банку с дистиллированной водой (1:5), а затем пастеризуют при температуре 90 °C в течение 10 мин для удаления посторонней микрофлоры. Пастеризованные выжимки инокулируют 5 % (об./об.) реактивированными культурами (8 log КОЕ/мл) и ферментируют при 37 °C в течение 1–4 дней без перемешивания	[24]

эвтектические растворители. К «зеленым» технологиям также относятся следующие методы экстракции: экстракция жидкостью под давлением, экстракция подкритической водой, экстракция сверхкритическим флюидом, экстракция с помощью микроволн, экстракция с помощью ультразвука и экстракция с помощью энзимов.

По сравнению с традиционными методами, эти способы находят все более широкое применение при извлечении биологически активных компонентов из растительных тканей. Среди преимуществ «зеленых» технологий — высокая скорость и эффективность экстракции, автоматизация, высокая селективность, сохранение фенольных соединений, улучшенная экстракция термочувствительных компонентов, сокращенное время обработки и уменьшенное использование органических растворителей, признанных безопасными. Тем не менее за счет новизны использования нестандартного оборудования и реактивов данные способы пока не получили достаточного распространения [19].

Большинство способов извлечения полифенольных соединений заключается в использовании агрессивных растворителей и/или сложного дорогостоящего оборудования. Поэтому в последние годы ученые находятся в поиске щадящих способов обработки сырья для лучшего высвобождения биоактивных веществ, все чаще применяют ферментацию [23].

Ферментативная экстракция является перспективным подходом перехода к более чистому промышленному производству. Данная технология обладает рядом преимуществ, а именно: снижение риска возможного загрязнения конечного продукта токсичными веществами; минимизирование производственных затрат; уменьшение воздействия на окружающую среду [25]. Воздействие ферментов способствует эффективному разрушению растительных клеток, усиливая высвобождение биоактивных соединений из различных агропромышленных отходов и побочных продуктов во время последующей твердожидкостной экстракции [26]. Ферментативная экстракция является устойчивой и более селективной альтернативой химического гидролиза, используемого для высвобождения неэкстрагируемых полифенолов из пищевых матриц. Для проведения ферментации жмыхов используют ферменты с различной активностью: β-глюканазы, протеазы, целлюлазы, ксиланазы, полигалактуроназы и пектиназы [27]. Данный вид экстракции предлагает эффективный способ не только увеличить выход продукта после экстракции и сократить время экстракции, но и улучшить качество самого процесса.

Ферментативная экстракция обладает рядом преимуществ, а именно: снижение риска возможного загрязнения конечного продукта токсичными веществами; минимизирование производственных затрат; уменьшение воздействия на окружающую среду [25].

Целью исследований является установление оптимальных параметров экстракции полифенольных соединений из жмыхов ягод вишни.

2. Объекты и методы

Объектами исследования являются:

- вишня сорта «Щедрая» (сорт выведен в Уральском НИИ сельского хозяйства (Россия), место сбора — Челябинская область, сезон — лето 2024 г.);
- вишневый жмых, оставшийся после получения сока из вишни сорта «Щедрая». Сок получали механически с использованием соковыжималки-пресса CBP-01M (Россия);
- экстракты, полученные из жмыха вишни сорта «Щедрая».

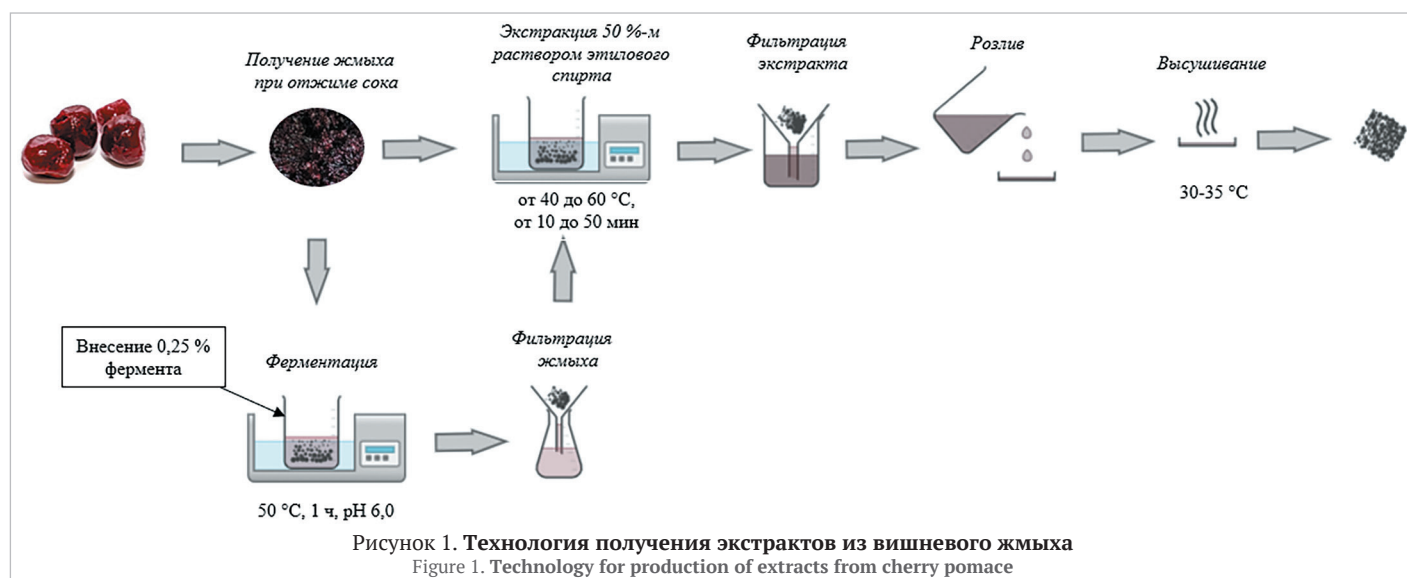
Экстракты получали двумя способами: контрольный образец был получен без предварительной ферментации сырья, опытные образцы — с предварительной ферментацией.

Для ферментации использовали фермент «Целлюлаза» (ТД «Биопрепарат», Россия). Это фермент класса гидролаз, катализирующий гидролиз β(1,4)-гликозидных связей в целлюлозе с образованием глюкозы или дисахарида целлобиозы. Представляет собой комплекс двух ферментов: эндо- и экзоглюканаз. Целлюлаза первого типа расщепляет целлюлозу неупорядоченно, с образованием фрагментов разной длины. Действие фермента второго типа приводит к образованию дисахарида целлобиозы, а также глюкозы. Биохимические свойства: активность 10000 ед/г; рабочий диапазон pH 2,0–6,5, оптимальная температура 50–65 °C.

Технологии получения контрольного и опытных образцов экстрактов из жмыхов вишни сорта «Щедрая» представлены на Рисунке 1.

Ферментация проводилась при температуре 50 °C в течение 1 часа в буферном растворе с pH 6,0. Предварительно сырье гомогенизировали в течение 1 минуты с помощью гомогенизатора Stegler S-10 (Langfang Zhihang Science Instrument Co., Ltd., Китай).

Экстракцию проводили при температурах 40 °C, 50 °C и 60 °C в течение 10, 30 и 50 минут. Для изготовления контрольного образца без предварительной ферментации экстракция проводилась при температуре 50 °C длительностью 30 мин [27].



Для определения оптимальных условий процесса экстракции использовали двухфакторный эксперимент. Полный факторный эксперимент по типу 3^k , где k — количество факторов, 3 — количество уровней (min, max, центр). Количество опытов определяли как $N = 3^k$ при $k = 2$ для двухфакторного эксперимента, число опытов составило $N = 9$.

В качестве зависимых переменных выбраны содержания флавоноидов (Y_1) и полифенолов (Y_2) в экстрактах, определяемые спектрофотометрически по методикам, описанным ниже. Варьируемые параметры: время экстракции (X_1) в диапазоне от 10 до 50 мин с шагом 20 мин; температура экстракции (X_2) в диапазоне от 40 до 60 °C с шагом 10 °C. В соответствии с планом эксперимента (Таблица 3) получено 9 опытных образцов экстрактов при пятикратном повторении эксперимента.

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента

Table 3. Experimental design matrix

№ п/п	X_1	X_2	Y_1	Y_2
1	40 (–1)	10 (–1)	1,500 ± 0,005 ⁱ	0,359 ± 0,001 ⁱ
2	40 (–1)	30 (0)	1,817 ± 0,008 ^e	0,873 ± 0,004 ^e
3	40 (–1)	50 (+1)	1,937 ± 0,008 ^d	0,956 ± 0,004 ^d
4	50 (0)	10 (–1)	2,778 ± 0,009 ^c	1,061 ± 0,006 ^c
5	50 (0)	30 (0)	3,173 ± 0,019 ^a	1,087 ± 0,007 ^b
6	50 (0)	50 (+1)	2,930 ± 0,016 ^b	1,101 ± 0,008 ^a
7	60 (+1)	10 (–1)	1,682 ± 0,006 ^h	0,423 ± 0,002 ^h
8	60 (+1)	30 (0)	1,745 ± 0,006 ^g	0,451 ± 0,002 ^g
9	60 (+1)	50 (+1)	1,781 ± 0,007 ^f	0,463 ± 0,002 ^f

Примечание: значения представляют собой средние значения ± SEM, $n = 5$. Средние значения в строке без общей надстрочной буквы различаются ($p < 0,05$) при анализе с помощью двухфакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Влияние независимых переменных X_1 и X_2 на зависимые переменные анализировали в программе MathCAD (PTC: order # 2456861 # 2497812).

Уравнение нелинейной регрессии для двухфакторного эксперимента в общем виде представлено следующим образом:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{11} \cdot X_1^2 + a_{22} \cdot X_2^2 \quad (1),$$

где a_0 — значение Y в центре плана; a_1 и a_2 — коэффициенты, характеризующие степень влияния факторов X_1 и X_2 на функцию Y ; $a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2$ учитывает эффект влияния взаимодействия 1-го и 2-го факторов на Y ; коэффициент a_{12} характеризует степень этого влияния; a_{11} и a_{22} — коэффициенты, характеризующие степень влияния квадратов факторов X_1 и X_2 на функцию Y .

Для полученного уравнения регрессии определяли следующие показатели: коэффициенты регрессии, надежность уравнения по коэффициенту детерминации (R^2) и адекватности модели по критерию Фишера (Fkr), статистическую значимость параметров уравнения регрессии по критерию Стьюдента (t).

При выполнении экспериментальных работ использовали следующие материалы и реактивы: спирт этиловый 95 % (ООО «Гиппо-

крат», Россия), галловая кислота степенью чистоты 98 % (АО «Вектон», Россия), алюминий хлористый степенью чистоты 99 % (АО «Вектон», Россия), рутин степенью чистоты не менее 97 % (Acros Organics, Бельгия), реактив Фолина-Чокальтеу (АО «Вектон», Россия), натрий углекислый чда (АО «Вектон», Россия), 2,2-Дифенил-1-Пикрилгидразил (CDN, Индия).

В полученных экстрактах определяли содержание флавоноидов и полифенолов. Для этого 10 г жмыха заливали 100 мл дистиллированной воды и тонко измельчали гомогенизатором Stegler S-10 (Langfang Zhihang Science Instrument Co., Ltd., Китай), а для экстрактов готовили 1 %-ный спиртовой раствор.

Определение суммарного содержания флавоноидов основано на установлении оптической плотности раствора при длине волны 560 нм.

В мерную пробирку помещали 2 мл исследуемого раствора, добавляли 2 мл 2,5 %-ного раствора хлорида алюминия в 95 %-ном этаноле и 1 мл 95 %-ного этанола. Через 30 мин измеряли оптическую плотность раствора на спектрофотометре СФ-2000 («ОКБ Спектр», Россия) при длине волны 560 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм.

Для приготовления стандартных растворов рутина в диапазоне концентраций 20–100 мкг/мл использовали 50 %-ный раствор этанола.

Количественное определение суммарного содержания полифенолов проводили методом Фолина-Чокальтеу. 0,1 мл каждого образца экстракта смешивали с 0,1 мл реагента Фолина-Чокальтеу, 1 мл 20 %-ного раствора карбоната натрия и 8,8 мл дистиллированной воды, 30 мин выдерживали в темноте и измеряли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-2000 («ОКБ Спектр», Россия) при 765 нм. В качестве стандарта использовали галловую кислоту, и результаты выражали в мг-эквивалентах галловой кислоты.

Для разведений галловой кислоты в 50 %-ном растворе этанола (25–250 мг/л; $R^2 = 0,996$) определяли оптическую плотность, по полученным данным строили калибровочную кривую, для которой получили соответствующее уравнение:

$$y = 1,6798 \cdot x + 0,0296, \quad (2)$$

где y — оптическая плотность раствора; x — концентрация галловой кислоты, мг/л.

У экстрактов, полученных по оптимальным параметрам, также определили антирадикальную активность методом DPPH и содержание антоцианов спектрофотометрическим методом.

Для расчета антирадикальной активности (АРА) использовали этанольный раствор DPPH 60 мкМ, 3 мл которого смешивали с 3 мл исследуемого раствора (1 %-ный раствор экстракта), инкубировали в темноте в течение 30 мин. Поглощение измеряли на спектрофотометре СФ-2000 («ОКБ Спектр», Россия) при 515 нм.

Параллельно готовили контрольный раствор, состоящий из равных количеств спирта и раствора DPPH.

АРА рассчитывали по формуле (3) [28]:

$$АРА = \frac{D_k - D_{обр}}{D_k} 100, \quad (3)$$

где D_k — оптическая плотность раствора DPPH (0,6248); $D_{обр}$ — оптическая плотность образца.

Определение суммарного содержания антоцианов проводили по методу pH-дифференциальной спектрофотометрии. Массовую концентрацию суммы антоцианов в пересчете на цианидин-3-глюкозид определяли на основе изменения поглощения света с длиной волны 510 нм при изменении кислотности раствора от 1 до 4,4 ед. pH. Для этого в две мерные колбы помещали по 2,5 см аликвоты пробы, разбавленной с дистиллированной водой 1:5, и доводили до метки буферными растворами с 1,0 и 4,5 ед. pH.

Содержимое в колбах перемешивали, выдерживали в течение 15 мин и проводили измерение оптической плотности каждого раствора при длинах волн 510 и 700 нм соответственно.

Разность оптических плотностей ΔA вычисляли как разность оптических плотностей растворов при разных длинах волн и соответствующих значениях pH по формуле (4) [29]:

$$\Delta A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH1}} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH4,5}}, \quad (4)$$

где A_{510} — оптическая плотность раствора пробы при длине волны 510 нм, е. о. п.; A_{700} — оптическая плотность раствора пробы при длине волны 710 нм, е. о. п.

Массовую концентрацию антоцианов в экстрактах C , мг/дм³ в пересчете на цианидин-3-глюкозид вычисляли по формуле (5) [29]:

$$C = \frac{\Delta A \cdot M \cdot V_1 \cdot 10^3}{V_2 \cdot \varepsilon \cdot l}, \quad (5)$$

где ΔA — разность оптической плотности раствора, е. о. п.; M — молекулярная масса цианидин-3-глюкозид, равная 449,2 г/моль; V_1 — вместимость мерной колбы, взятой для разбавления, см³; V_2 — объем аликвоты, взятой на определение, см³; ε — молярный коэффициент экстинкции цианидин-3-глюкозида; $\varepsilon = 26900$ дм³·моль⁻¹·см⁻¹; l — длина оптического пути кюветы, см.

Данные были проанализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки с применением программных пакетов Microsoft Excel и программного обеспечения в свободном доступе, предложенного Assaad и др. [30].

Количество повторов эксперимента составило 5.

Значения вероятности $p \leq 0,05$ приняты для указания статистической значимости.

3. Результаты и обсуждение

Матрица планирования эксперимента и результаты определения содержания полифенолов и флавоноидов представлены в Таблице 3.

В результате расчетов в программе MathCad было получено уравнение регрессии, которое отражает зависимость суммарного содержания флавоноидов в пересчете на рутин (Y_1), %, от параметров экстракции вишневого жмыха:

$$Y_1 = -3,592 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 - 0,012 \cdot X_2^2 - 4,225 \cdot 10^{-4} \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,048 \cdot X_1 + 1,229 \cdot X_2 - 28,451, \quad (6)$$

где X_1 — время экстракции, мин; X_2 — температура экстракции, °C.

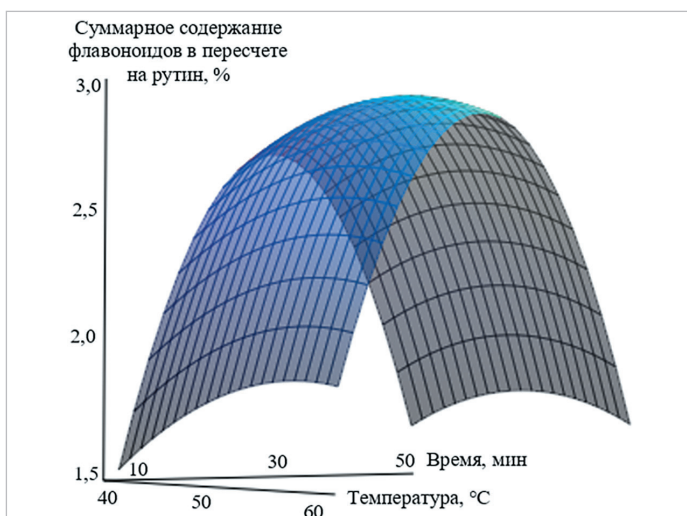


Рисунок 2. Трехмерная диаграмма поверхности отклика суммарного содержания флавоноидов в пересчете на рутин при экстракции вишневого жмыха в зависимости от факторов: температура и период экстракции

Figure 2. Three-dimensional response surface diagram of the total content of flavonoids in terms of rutin upon extraction of cherry pomace depending on the factors: temperature and extraction period

При сравнении p -значений в пределах независимых переменных отмечена высокая степень достоверности коэффициентов регрессии для параметра «температура экстракции» (X_2) ($p \leq 0,001$). В то же время параметры «квадрат времени экстракции» (X_1^2) ($p \geq 0,05$), а также взаимодействие параметров ($X_1 \cdot X_2$) ($p \geq 0,05$) не оказали влияния на суммарное содержание флавоноидов в пересчете на рутин. О высокой точности модели можно судить по коэффициенту детерминации $R^2 = 0,996$. Также расчеты показали, что модель адекватна, т. е. хорошо объясняет общую дисперсию зависимой переменной (F -статистика = 152,1, $F_{кр} = 3,44$).

С учетом значимости коэффициентов уравнение (6) будет иметь следующий вид:

$$Y_1 = -0,012 \cdot X_2^2 + 0,048 \cdot X_1 + 1,229 \cdot X_2 - 28,451. \quad (7)$$

На поверхности отклика зависимая переменная фиксировалась на центральном уровне (ось Z), а влияние двух независимых переменных на отклик — на осях (Y и X) (Рисунок 2). Используя уравнение (7), можно регулировать необходимый уровень экстракции жмыха в зависимости от необходимого содержания биоактивных веществ.

Оптимальные параметры экстракции, полученные в программе MathCad при построении поверхности отклика, показали, что для наиболее эффективной экстракции флавоноидов рекомендуется использовать следующие значения: температура — 47,17 °C, период экстракции — 49,9 мин, прогнозируемое суммарное содержание флавоноидов в пересчете на рутин — 5,22 %.

В программе MathCad также было получено уравнение множественной регрессии, отражающее изменение содержания полифенолов (Y_2), мг экв. галловой кислоты, при варьировании параметров экстракции вишневого жмыха.

$$Y_2 = -1,913 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 - 4,955 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 - 6,962 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,052 \cdot X_1 + 0,4502 \cdot X_2 - 11,93, \quad (8)$$

где X_1 — время экстракции, мин; X_2 — температура экстракции, °C.

При сравнении p -значений в пределах независимых переменных отмечена высокая степень достоверности коэффициентов регрессии для параметра «температура экстракции» (X_2) ($p \leq 0,001$). В то же время параметр «время экстракции» (X_1) ($p = 0,083$) имеет пограничную значимость, а взаимодействие параметров ($X_1 \cdot X_2$) ($p \geq 0,05$) и квадрат времени экстракции (X_1^2) ($p \geq 0,05$) не оказали влияния на суммарное содержание полифенолов. Высокое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,945$) и F -статистика = 10,32 ($F_{кр} = 3,44$) подтверждают высокую точность модели и ее адекватность.

С учетом этих данных и значимости коэффициентов уравнение (8) будет иметь следующий вид:

$$Y_2 = -4,955 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 + 0,052 \cdot X_1 + 0,4502 \cdot X_2 - 11,93. \quad (9)$$

На поверхности отклика зависимая переменная фиксировалась на центральном уровне (ось Z), а влияние двух независимых переменных на отклик — на осях (Y и X) (Рисунок 3). Используя уравнение

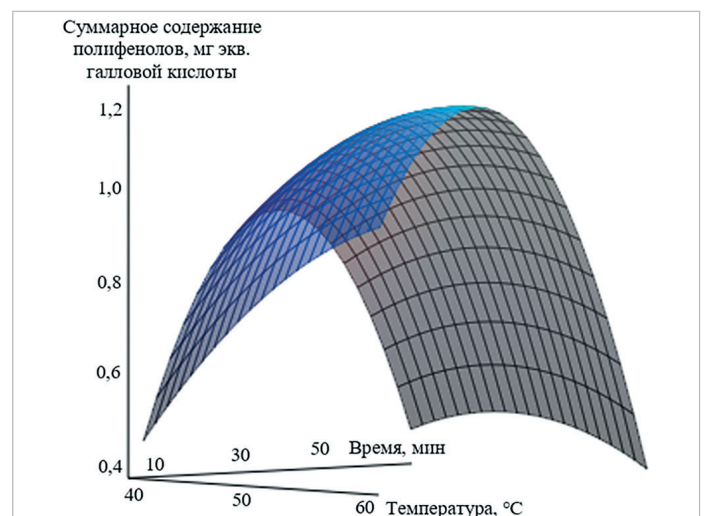


Рисунок 3. Трехмерная диаграмма поверхности отклика суммарного содержания полифенолов при экстракции вишневого жмыха в зависимости от факторов: температура и период экстракции

Figure 3. Three-dimensional response surface diagram of the total content of polyphenols upon extraction of cherry pomace depending on the factors: temperature and extraction period

(9), можно регулировать содержание полифенолов в экстрактах в зависимости от параметров экстракции. Так, например, для достижения содержания полифенолов 1,21 мг экв. галловой кислоты температуру экстракции рекомендуется поддерживать на уровне 49,9 °С, а период экстракции составит 57,9 мин.

Для проверки работы модели по оптимальным параметрам экстракции изготовлены экстракты и оценены антиоксидантные свойства. В Таблице 4 представлены результаты исследования экстрактов, изготовленных при температуре 47,17 °С с длительностью экстракции 49,9 мин, а также результаты исследований контрольного образца (без предварительной ферментации сырья). Прогнозируемые значения получены подстановкой параметров экстракции в уравнение (7) для определения теоретического содержания флавоноидов и в уравнение (9) для определения содержания полифенолов.

Таблица 4. Результаты исследования экстрактов
Table 4. Results of the analysis of the extracts

Образец	Суммарное содержание флавоноидов в пересчете на рутин, %	Суммарное содержание полифенолов	
		мг экв. галловой кислоты/л	мг экв. галловой кислоты/г сухого веса
Контрольный образец экстракта	2,533±0,118 ^b	0,908±0,034 ^b	96,596±4,177 ^b
Оптимальный опытный образец экстракта	4,957±0,132 ^a	1,268±0,047 ^a	134,894±5,750 ^a
Прогнозируемое значение при заданных условиях	5,216	0,876	128,723

Примечание: результаты в строках с одинаковыми буквами существенно не различаются при $p < 0,05$ по критерию Тьюки.

Отличие прогнозируемого значения содержания флавоноидов от экспериментального составило около 5%, что показывает адекватное описание модели уравнением (6).

Содержание полифенолов в образцах экстрактов, изготовленных по оптимальным условиям для получения флавоноидов, составило на 45% больше, чем прогнозируемое по уравнению регрессии для флавоноидов. Такая разница в результатах показывает, что следует использовать уравнение регрессии с установленными для него оптимальными параметрами для получения ожидаемого (прогнозируемого) результата по содержанию конкретной группы биоактивных веществ, т. е. для получения определенного количества биофлавоноидов — уравнение (7), а полифенолов — уравнение (9).

В литературе встречаются экспериментальные данные определения полифенолов в экстрактах сладкой вишни, полученных при экстрагировании аналогичным растворителем в течение 60 мин [31]. Полученное значение составило около 40 мг экв. галловой кислоты на грамм сухого вещества, тогда как при использовании других прогрессивных методов экстракции содержание полифенолов в экстрактах увеличилось до 170 мг экв. галловой кислоты на грамм сухого веса [31]. Также в исследованиях зарубежных ученых отмечено, что температура экстракции от 47 °С до 56 °С максимизирует концентрацию фенольных соединений в экстрактах, полученных из вишневых жмыхов [32].

Отмечено, что повышение температуры экстракции до 50 °С приводит к лучшему извлечению фенольных соединений из жмыхов. Ученые объясняют это повышением эффективности массопереноса при умеренных температурах за счет повышения растворимости и диффузионной способности внутриклеточных соединений в растворителе, при одновременном снижении поверхностного натяжения и вязкости [33]. Время экстракции также является важным параметром, поскольку длительная экстракция приводит к разложению фенолов при длительной выдержке при высокой температуре.

У опытного образца экстракта содержание флавоноидов и полифенолов выше, чем в контрольном образце, что показывает эффективность предварительной ферментации сырья для более полного высвобождения биоактивных веществ из растительных клеток. Так, содержание биофлавоноидов после ферментной обработки сырья увеличилось примерно в 2 раза, а полифенолов — в 1,4 раза.

В научных публикациях также отмечено, что экстракты, полученные при ферментации жмыхов сладкой вишни, показали более высокое содержание проантоцианидинов и антиоксидантную способность, чем экстракты, полученные кислотным и щелочным гидролизом [34].

На Рисунке 4 представлены результаты определения антирадикальной активности и содержания антоцианов в вишневом соке и образцах экстрактов.

Результаты исследований показали, что содержание антоцианов снизилось в экстрактах по сравнению с их содержанием в свежем вишневом соке с 7,535 до 4,344 мг/дм³ в пересчете на цианидин-3-глюкозид ($p \leq 0,05$). Вероятно, это связано с известной нестойкостью данных химических веществ при воздействии света и способностью быстро разрушаться при воздействии воздуха. В то же время содержание антоцианов значительно выше оказалось в опытном образце экстракта, что коррелирует с данными о более высоком содержании в экстрактах, полученных с предварительной ферментацией сырья, полифенолов и биофлавоноидов. Экспериментальные данные подтверждают эффективность воздействия целлюлозы на клеточные стенки и способствуют более полному выходу биоактивных веществ в растворитель. Несмотря на более высокое содержание антоцианов в соке, более высокая антирадикальная активность отмечена в опытном образце экстракта, что подтверждает литературные данные об антиоксидантных свойствах не только антоцианов, но и других представителей полифенолов [35].

С учетом значительного содержания биоактивных веществ в вишневом жмыхе можно сделать вывод о высоком потенциале данного вторичного сырья для получения экстрактов. Многочисленные исследования экстрактов полифенолов в качестве добавок с антиоксидантными свойствами доказывают возможности их применения в продуктах питания для замедления окислительных процессов, а также в качестве натурального красителя или нутрицевтического компонента.

Однако ученые отмечают, что для сохранения свойств экстракта необходимо тщательно контролировать время и температуру хранения, а также применять технологии стабилизации свойств [36].

4. Выводы

Вишневый жмых, образуемый при переработке ягод вишни, содержит значительные количества биоактивных веществ и является перспективным источником для получения экстрактов. Широко

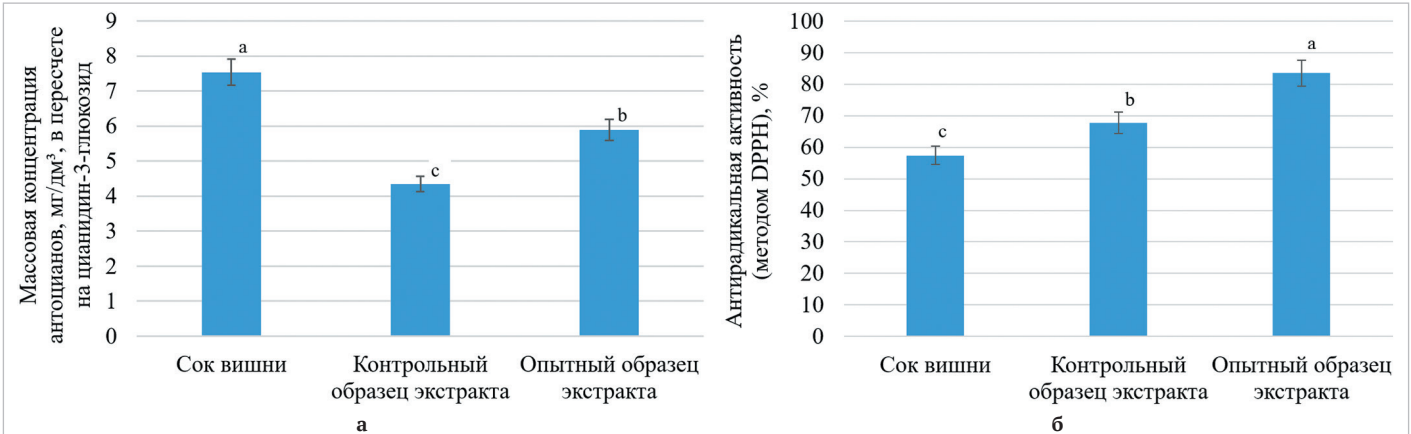


Рисунок 4. Результаты определения содержания антоцианов (а) и антирадикальной активности (б) экстрактов (результаты с одинаковыми буквами существенно не различаются при $p < 0,05$ по критерию Тьюки)
Figure 4. Results of the determination of the antocyan content (a) and antiradical activity (b) of the extracts (results with the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ according to the Tukey test)

используют различные способы экстракции, но наиболее щадящими остаются методы с предварительной ферментацией сырья.

При проведении экстракции важными технологическими параметрами являются продолжительность и температура экстракции. Математическое моделирование процесса позволяет быстро спрогнозировать оптимальные параметры для получения ожидаемого эффекта. Однако следует использовать определенное уравнение регрессии с установленными для него оптимальными параметрами для получения ожидаемого (прогнозируемого) результата по содержанию определенных биоактивных веществ.

В результате проведения двухфакторного эксперимента получены уравнения нелинейной регрессии, показывающие зависимость суммарного содержания биоактивных веществ (флавоноидов и полифенолов) от параметров экстракции.

Методом построения поверхностей отклика получены оптимальные параметры экстракции для достижения прогнозируемого содержания флавоноидов и полифенолов. Для достижения содержания полифенолов 1,21 мг экв. галловой кислоты рекомендуется поддерживать температуру экстракции на уровне 49,9 °C, а период экстракции составит 57,9 мин.

Для наиболее эффективной экстракции флавоноидов рекомендуется использовать следующие параметры: температура — 47,17 °C, период экстракции — 49,9 мин, прогнозируемое суммарное содержание флавоноидов в пересчете на рутин — 5,216%. Содержание флавоноидов в экстрактах, полученных при оптимальных параметрах, оказалось на 5% ниже прогнозируемого значения.

Также следует отметить, что содержание флавоноидов и полифенолов в экстракте, полученном при оптимальных параметрах, оказалось выше, чем в контрольном образце. Это подтверждает эффективность предварительной ферментации сырья для более полного высвобождения биоактивных веществ из растительных клеток.

Таким образом, математическое моделирование процесса экстракции позволяет достаточно точно спрогнозировать оптимальные параметры процесса для получения экстрактов с высоким содержанием биоактивных веществ.

Извлечение полифенольных экстрактов из вишневого жмыха — перспективная альтернатива для получения натуральных добавок с антиоксидантными и колориметрическими свойствами. Они способны улучшать органолептические характеристики пищевых продуктов и продлевать срок их хранения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Ермош, Л. Г., Присухина, Н. В., Фадеев, К. А. (2021). Использование отходов сокового производства для рецептурного состава ягодно-овощных чипсов. *Вестник КраСГАУ*, 6(171), 163–169. [Ermosh, L. G., Prisuina, N. V., Fadeev, K. A. (2021). Use of juice production waste for recipe composition of berry-vegetable chips. *Bulletin of KSAU*, 6(171), 163–169. (In Russian)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-6-163-169>
- Салина, Е. С., Левгерова, Н. С., Сидорова, И. А. (2018). Технологическая характеристика новых сортов вишни селекции ВНИИСПК для производства сока. *Современное садоводство*, 2(26), 22–27. [Salina, E. S., Levgerova N. S., Sidorova I. A. (2018). Technological characteristics of new cherry varieties of VNIISP breeding for juice production. *Contemporary Horticulture*, 2(26), 22–27. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10204>
- Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Kalompatsios, D., Kotsou, K., Mantiniotou, M., Bozinou, E. et al. (2024). Sustainable valorization of sour cherry (*Prunus cerasus*) by-products: Extraction of antioxidant compounds. *Sustainability*, 16(1), Article 32. <https://doi.org/10.3390/su16010032>
- Рахметова, Т. П., Ефремов, И. Н. (2020). Биохимическая характеристика плодов перспективных сортов вишни. *Вестник аграрной науки*, 4(85), 176–180. [Rakhmetova, T.P., Efremov, I.N. (2020). Biochemical characteristics of promising sour cherry cultivars fruits. *Bulletin of Agrarian Science*, 4(85), 176–180. (In Russian)] <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.4.176>
- Макаркина, М. А., Павел, А. Р., Ветрова, О. А. (2020). Биохимическая оценка сортов некоторых плодовых и ягодных культур селекции ВНИИСПК. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, 4, 18–21. [Makarkina, M. A., Pavel, A. R., Vetrova O. A. (2020). Biochemical assessment of some fruit and berries varieties in selection of All-Russian Research Institute for Fruit Crop Breeding. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 4, 18–21. (In Russian)] <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/18-21>
- Bae, M., Le, C., Mehta, R. S., Dong, X., Pieper, L. M., Ramirez, L. et al. (2024). Metatranscriptomics-guided discovery and characterization of a polyphenol-metabolizing gut microbial enzyme. *Cell Host and Microbe*, 32(11), 1887–1896. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2024.10.002>
- Wei, X., Zhou, C., Luo, D., Jiang, G., Zhao, Z., Wang, W. et al. (2024). Insighting the effect of ultrasound-assisted polyphenol non-covalent binding on the functional properties of myofibrillar proteins from golden threadfin (*Nemipterus virgatus*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 109, Article 106988. <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2024.106988>
- Kołodziejczyk, K., Sójka, M., Abadias, M., Viñas, I., Guyot, S., Baron, A. (2013). Polyphenol composition, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of the extracts obtained from industrial sour cherry pomace. *Industrial Crops and Products*, 51, 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.030>
- Tan, H. L., Ferrentino, G., Morozova, K., Tenuta, M. C., Scampicchio, M. (2025). Supercritical CO₂ extraction and fractionation of turmeric polyphenols: Antioxidant capacity and inhibition of lipid oxidation in sunflower oil. *Food Bioscience*, 69, Article 106906. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106906>
- Ma, Y., Wang, N., Liu, X., Ma, X., Meng, S., Zhao, J. et al. (2025). Construction of flaxseed polyphenol nanolipid emulsions as edible coatings and their application in shelf life extension of spiced beef. *Food Chemistry: X*, 27, Article 102502. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102502>
- Kamal, G. M., Uddin, J., Asmari, M., Noreen, A., Liaqat, A., Sabir, A. et al. (2025). Natural polyphenols as a promising aquatic food preservative: A concurrent review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, Article 102046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102046>
- Niculescu, A., Bunea, C. I., Mocan, A. (2025). Total flavonoid content revised: An overview of past, present, and future determinations in phytochemical analysis. *Analytical Biochemistry*, 700, Article 115794. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2025.115794>
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Valko, R., Liska, J., Nepovimova, E., Kuca, K. et al. (2025). Flavonoids and their role in oxidative stress, inflammation, and human diseases. *Chemico-Biological Interactions*, 413, Article 111489. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2025.111489>
- Sahu, K. G., Khobragade, D. S., Patil, S. P. (2024). Anticancer flavonoids producing endophytic fungi: A review. *Journal of Holistic Integrative Pharmacy*, 5(4), 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.jhip.2024.11.002>
- Herlina, T., Akili, A. W. R., Nishinarizki, V., Hardianto, A., Latip, J. B. (2025). Review on antibacterial flavonoids from genus *Erythrina*: Structure-activity relationship and mode of action. *Heliyon*, 11(1), Article e41395. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41395>
- Wang, X. J., Hu, Y. L., Huan, J. M., Jiang, F., Xin, L. Y., Hua, Z. et al. (2025). Systemic inflammatory biomarkers as mediators of the association between dietary flavonoids and sleep disorders in patients with hypertension: A population-based study. *Journal of Functional Foods*, 128, Article 106788. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2025.106788>
- Li, X., Xie, E., Sun, S., Shen, J., Ding, Y., Wang, J. et al. (2025). Flavonoids for gastrointestinal tract local and associated systemic effects: A review of clinical trials and future perspectives. *Journal of Advanced Research* (In Press). <https://doi.org/10.1016/j.jare.2025.01.014>
- Bondonno, N. P., Liu, Y. L., Grodstein, F., Rimm, E. B., Cassidy, A. (2025). Associations between flavonoid-rich food and flavonoid intakes and incident unhealthy aging outcomes in older United States males and females. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 121(5), 972–985. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2025.02.010>
- Serra, A. T., Seabra, I. J., Braga, M. E.M., Bronze, M.R., Sousa, H. C., Duarte, C. M. (2010). Processing cherries (*Prunus avium*) using supercritical fluid technology. Part 1: Recovery of extract fractions rich in bioactive compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 55(1), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.06.005>
- Ebrahimi, P., Roodbali, A., Simonato, B., Lante, A., Rizzi, C. (2025). Unveiling the effects of sieving and drying on ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from spent sour cherry pomace. *Ultrasonics Sonochemistry*, 118, Article 107375. <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2025.107375>
- Mero, A., Mezzetta, A., De Leo, M., Braca, A., Guazzelli, L. (2024). Sustainable valorization of cherry (*Prunus avium* L.) pomace waste via the combined use of (NA)DESs and bio-ILs. Electronic supplementary information (ESI) available. *Green Chemistry*, 26(10), 6109–6123. <https://doi.org/10.1039/d4gc00526k>
- Loukri, A., Kissas, T., Kyriakoudi, A., Zymvrakaki, E., Stratakis, A. Ch., Mourtzinos, I. (2024). Coupling of cold atmospheric plasma treatment with ultrasound-assisted extraction for enhanced recovery of bioactive compounds from cornelian cherry pomace. *Food Chemistry*, 455, Article 139989. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139989>
- Wang, Z., Tang, H., Li, Y., Tian, L., Ye, B., Yan, W. et al. (2024). Evaluating the dynamic effects of complex probiotics as cellulase replacements during fermentation of apple pomace. *International Journal of Food Microbiology*, 425, Article 110896. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110896>
- Uzun, D. E., Dikmetas, D. N., Karbancioglu-Guler, F., Tomas, M., Capanoglu, E. (2024). Exploring the impact of fermentation on bioactive compounds in two different types of carrot pomace. *Food Bioscience*, 61, Article 104646. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104646>
- Cho, E. J., Trinh, L. T. P., Song, Y., Lee, Y. G., Bae, H.-J. (2020). Bioconversion of biomass waste into high value chemicals. *Bioresource Technology*, 298, Article 122386. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122386>
- Ariwaodo, C. A., Olaniyan, O. F. (2024). Fleshy fruit waste and the green chemistry of its conversion to valuable products for humans and animals. *Food Chemistry Advances*, 4, Article 100634. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100634>
- Domínguez-Rodríguez, G., Marina, M. L., Plaza M. (2022). *In vitro* assessment of the bioavailability of bioactive non-extractable polyphenols obtained by pressurized liquid extraction combined with enzymatic-assisted extraction from sweet cherry (*Prunus avium* L.) pomace. *Food Chemistry*, 385, Article 132688. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132688>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology*, 28(1), 20–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Rucai, E., Carpentieri, S., Siano, F., Ferrari, G., Pataro, G. (2023). Optimizing the solvent extraction process for high-value compounds from sweet cherry press cake treated with pulsed electric fields using response surface methodology. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, Article 1273243. <https://doi.org/10.3389/frfst.2023.1273243>
- Assaad, H. I., Zhou, L., Carroll, R. J., Wu, G. (2014). Rapid publication-ready MS-Word tables for one-way ANOVA. *Springer Plus*, 3, Article 474. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-474>

31. Rrucaj, E., Carpentieri, S., Scognamiglio, M., Siano, F., Ferrari, G., Pataro, G. (2024). Sustainable valorization of industrial cherry pomace: A novel cascade approach using pulsed electric fields and ultrasound assisted-extraction. *Foods*, 13(7), Article 1043. <https://doi.org/10.3390/foods13071043>

32. Rrucaj, E., Carpentieri, S., Siano, F., Ferrari, G., Pataro, G. (2023). Optimizing the solvent extraction process for high-value compounds from sweet cherry press cake treated with pulsed electric fields using response surface methodology. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, Article 1273243. <https://doi.org/10.3389/frfst.2023.1273243>

33. Drevelegka, I., Goula, A. M. (2020). Recovery of grape pomace phenolic compounds through optimized extraction and adsorption processes. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, 149, Article 107845. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107845>

34. Domínguez-Rodríguez, G., Marina, M. L., Plaza, M. (2021). Enzyme-assisted extraction of bioactive non-extractable polyphenols from sweet cherry (*Prunus avium L.*) pomace. *Food Chemistry*, 339, Article 128086. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128086>

35. Chezanoglou, E., Mourtzinos, I., Goula, A. M. (2024). Sweet cherry and its by-products as sources of valuable phenolic compounds. *Trends in Food Science and Technology*, 145, Article 104367. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104367>

36. Bulgari, D., Pisoni, L., Renzetti, S., Gobbi, E., Bertoli, N., Gargari, G. et al. (2025). Valorization of *Prunus cerasus* var. marasca pomace derived from industrial processing: Recovery, characterization, and bioactivity assessment of secondary metabolites. *Molecular Nutrition and Food Research*, Article e70087. <https://doi.org/10.1002/mnfr.70087>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Зинина Оксана Владимировна — доктор технических наук, профессор, кафедра «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76 E-mail: zinoks-vl@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4817-1645 * автор для контактов	Oksana V. Zinina , Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Food and Biotechnology, South Ural State University (National Research University) 76, Lenin Av., Chelyabinsk, 454080, Russia E-mail: zinoks-vl@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4817-1645 * corresponding author
Вишнякова Елена Александровна — магистрант, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76 E-mail: l.vishny@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8557-9239	Elena A. Vishnyakova , master's student, South Ural State University (National Research University) 76, Lenin Av., Chelyabinsk, 454080, Russia E-mail: l.vishny@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8557-9239
Наumenko Наталья Владимировна — доктор технических наук, профессор, кафедра «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76 E-mail: Naumenko_natalya@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9520-3251	Natalia V. Naumenko , Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Food and Biotechnology, South Ural State University (National Research University) 76, Lenin Av., Chelyabinsk, 454080, Russia E-mail: Naumenko_natalya@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9520-3251
Ребезов Максим Борисович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 E-mail: rebezov@ya.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0857-5143	Maksim B. Rebezov , Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhin str., Moscow, 109316, Russia E-mail: rebezov@ya.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0857-5143
Критерии авторства	Contribution
Концептуализация — Зинина О. В. и Ребезов М. Б. ; методология — Зинина О. В. и Ребезов М. Б. ; исследование — Вишнякова Е. А. ; обработка и анализ данных — Зинина О. В. и Наumenко Н. В. ; написание статьи и редактирование — Зинина О. В., Ребезов М. Б., Наumenко Н. В. Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Conceptualization — Oksana V. Zinina and Maksim B. Rebezov ; methodology — Oksana V. Zinina and Maksim B. Rebezov ; investigation — Elena A. Vishnyakova , data curation and analysis — Oksana V. Zinina and Natalia V. Naumenko ; writing-article and editing — Oksana V. Zinina, Maksim B. Rebezov and Natalia V. Naumenko . Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.