

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-114-124>



Поступила 27.12.2023

Поступила после рецензирования 20.03.2024

Принята в печать 25.03.2024

© Алексеенко Е. В., Каримова Н. Ю., Семенов Г. В., Краснова И. С., Бакуменко О. Е., 2024

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

Научная статья

Open access

## ПОЛУЧЕНИЕ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУБЛИМИРОВАННОГО СОКА ЧЕРНИКИ ИЗ ФЕРМЕНТАТИВНО ОБРАБОТАННЫХ ЯГОД

Алексеенко Е. В., Каримова Н. Ю.\*; Семенов Г. В., Краснова И. С., Бакуменко О. Е.

Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АННОТАЦИЯ

*черника, ферментативный гидролиз, сублимация, сублимированный порошок, органолептические показатели, биохимический состав*

Перспективным направлением в технологии переработки ягод черники является получение сублимированных соковых полуфабрикатов. Это направление позволяет комплексно решать вопросы, связанные с сезонностью переработки ягод, с оптимизацией логистических расходов, с расширением географии источников поставки сырья, сохраняя при этом высокие органолептические качества лиофилизированного продукта. Главными преимуществами такого продукта являются характеристики, определяющие свойства свежих ягод, такие как вкус, цвет, аромат, а также их пищевая и биологическая ценность. Целью исследования является разработка технологических решений для получения сублимированного сока ягод черники, выработанного из ферментативно обработанной мякоти ягод, а также определение его биохимических характеристик. В работе использовали химические (титриметрический и гравиметрический методы) и современные физико-химические методы анализа (ВЭЖХ, атомно-абсорбционный спектральный анализ, потенциометрический и спектрофотометрический методы). В результате проведенных исследований были определены параметры процесса сублимационной сушки нативного сока ягод черники: температура сублимации — минус 23±2 °С и давление 70–80 Па, досушивание — при температуре 38–40 °С. Продолжительность процесса сублимационной сушки составила 16 часов до достижения конечной влажности 4%. Показано, что сублимированный сок сохраняет все атрибуты качества нативного сока: вкус, цвет, аромат. Дана характеристика нативному и сублимированному соку черники по химическому составу: исследованы профили флавоноидов, антоцианов, феноло- и органических кислот, состав сахаров, витаминов и минеральных веществ. Установлено, что выбранные параметры сублимации обеспечивают сохранность биологически активных и минорных веществ на уровне не менее 77% от их исходного содержания в нативном соке. Высокую сохранность продемонстрировали кверцетин и ресвератрол, потери эпикатехина составили 9,6%, фенолокислот — 13,7–23,0%, витаминов — 14–22%. В результате обработки сока методом сублимации замечено увеличение содержания дельфинидин-3-глюкозида, цианидин-3-арабинозида и цианидин-3-глюкозида на 20–35%. Доля цианидин-3-галактозида + дельфинидин-3-арабинозида уменьшилась на 65%, а дельфинидин-3-галактозида — в 2,85 раза. Установлено уменьшение в сублимате сока содержания макроэлементов (до 6,0%); более заметные потери зафиксированы по микроэлементам (до 14,8%). Полученные результаты показали перспективность использования технологии и выбранных режимов сублимации при получении сокового черничного сублимата. Такая технология сочетает в себе возможности получения технологичного ягодного ингредиента с максимальным сохранением природных биологически активных и минорных компонентов ягод для применения в продуктах здорового питания.

Received 27.12.2023

Accepted in revised 20.03.2024

Accepted for publication 25.03.2024

© Alekseenko E. V., Karimova N. Yu., Semenov G. V., Krasnova I. S., Bakumenko O. E., 2024

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

Original scientific article

Open access

## PRODUCTION AND BIOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF FREEZE-DRIED BLUEBERRY JUICE FROM ENZYMATICALLY PROCESSED BERRIES

Elena V. Alekseenko, Natalya Yu. Karimova\*, Gennadiy V. Semenov, Irina S. Krasnova, Olesya E. Bakumenko

Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

**KEY WORDS:**

*blueberries, enzymatic hydrolysis, freeze-drying, freeze-dried powder, organoleptic characteristics, biochemical composition*

**ABSTRACT**

Production of freeze-dried juice semi-finished products is a promising direction in the technology of processing blueberries. This direction allows complex problem solving regarding seasonality of berry processing with optimization of logistics costs, extension of the geography of sources of raw material supply while preserving high sensory properties of a freeze-dried product. The main advantages of such a product are characteristics determining properties of fresh berries, including taste, color, aroma, nutritional and biological value. The aim of the study was the development of technological solutions to produce freeze-dried blueberry juice from enzymatically processed blueberry pulp, as well as determination of its biochemical characteristics. Chemical (titrimetric and gravimetric) methods and modern physico-chemical methods (HPLC, atomic absorption spectrometry, potentiometric and spectrophotometric methods) were used in the work. As a result of the performed investigations, parameters have been determined for the process of freeze-drying of native blueberry juice: freeze-drying temperature of -23±2 °C and pressure of 70–80 Pa, secondary drying at a temperature of 38–40 °C. Duration of the freeze-drying process was 16 hours until reaching the final moisture of 4%. It is shown that freeze-dried juice preserves all quality attributes of the native juice: taste, color and aroma. The native and freeze-dried blueberry juice was characterized by the chemical composition. The profile of flavonoids, anthocyanins, phenolic and organic acids, composition of sugars, vitamins and minerals were studied. It has been established that the chosen parameters of freeze-drying ensure preservation of biologically active and minor substances at a level of no less than 77% of the initial content in the native juice. High preservation was demonstrated for quercetin and resveratrol. Losses were 9.6% for epicatechin, 13.7–23.0% for phenolic acids, and 14–22% for vitamins. As a result of juice processing by freeze-drying, an increase was noticed for the content of delphinidin-3-glucoside, cyanidin-3-arabinoside, cyanidin-3-glucoside by 20–35%. The proportion of cyanidin-3-galactoside + delphinidin-3-arabinoside decreased by 65% and that of delphinidin-3-galactoside by 2.85 times. A decrease in the content of macro-elements (up to

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Алексеенко, Е. В., Каримова, Н. Ю., Семёнов, Г. В., Краснова, И. С., Бакуменко, О. Е. (2024). Получение и биохимическая характеристика сублимированного сока черники из ферментативно обработанных ягод. *Пищевые системы*, 7(1), 114–124. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-114-124>

FOR CITATION: Alekseenko, E. V., Karimova, N. Yu., Semenov, G. V., Krasnova, I. S., Bakumenko, O. E. (2024). Production and biochemical characterization of freeze-dried blueberry juice from enzymatically processed berries. *Food Systems*, 7(1), 114–124. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-114-124>

6.0%) was established in the freeze-dried juice; more noticeable losses were recorded for micro-elements (up to 14.8%). The results obtained show prospects of using the technology and chosen regimes of freeze-drying in production of freeze-dried blueberry juice. This technology combines a possibility of producing a manufacturable berry ingredient with maximum preservation of natural biologically active and minor components of berries for using in products of healthy nutrition.

## 1. Введение

Современные тенденции в пищевой промышленности предполагают широкое применение ягод и продуктов их переработки в производстве продуктов питания, содержащих биологически активные и функционально значимые вещества, которые имеют доказанное положительное воздействие на организм человека [1]. Однако по причине сезонности сбора ягод возможности их круглогодичного применения в пищевых технологиях существенно ограничиваются, что обуславливает целесообразность получения ягодных полуфабрикатов, доступных для использования в течение года. В настоящее время для переработки ягод существует большой арсенал технологических способов и приемов, позволяющих успешно решать эти задачи. Однако вопросы максимального сохранения биогенного потенциала ягод и достижения требуемых показателей качества все еще достаточно актуальны. Не менее важными являются вопросы обеспечения технологичности продуктов переработки ягод, удовлетворяющей критериям логистики и приемлемости в производстве.

Совершенствование современных технологий сушки, таких как вакуумная сублимационная сушка, позволяет комплексно подойти к решению проблем, связанных с сезонностью переработки ягод, с оптимизацией логистических расходов и с расширением географических зон поставки сырья (не только в контексте близости к предприятиям-потребителям), сохраняя при этом высокие органолептические свойства лиофилизированного продукта. Основное внимание уделяется ключевым характеристикам свежих ягод, таким как вкус, цвет и аромат, а также их пищевой и биологической ценности. Эффективность сублимационной вакуумной сушки доказана на примере ягод черники [2,3] клюквы [3,4], вишни, клубники [3], экстракта шиповника [5], плодов маоберри (*Antidesma Bunius L.*) [6], ферментированных ягод брусники [7] и др. Современные исследования в сфере применения сублимационной вакуумной сушки ягод и продуктов их переработки убедительно демонстрируют высокий уровень сохранности природных компонентов ягод в сравнении с другими способами высушивания. Представлены аргументированные данные, иллюстрирующие преимущества сублимационной вакуумной сушки по сравнению с конвективной [3,6] и с распылительной сушкой [5]; отмечается более высокая стабильность биоактивного потенциала лиофилизированных продуктов в процессе хранения [8]. В настоящее время актуальны исследования, направленные на разработку технологических решений, позволяющих получать продукты и пищевые ингредиенты из ягод, обладающих функциональными свойствами [9].

Ягоды черники — признанный источник витаминов, минеральных веществ и минорных биологически активных веществ; они обладают мультитерапевтическим эффектом (антиоксидантным, противовоспалительным, противораковым, нейропротекторным и улучшающим зрение) [10,11,12,13]. Одним из традиционных продуктов переработки ягод являются соки, аккумулирующие в себе достоинства спелых ягод. Эффективным технологическим решением может стать получение сублимированных черничных соков — концентратов полезных для здоровья человека природных компонентов ягод, в том числе натуральных красителей, антиоксидантов и ароматизаторов. Эти концентраты обладают увеличенным сроком годности по сравнению со свежими ягодами, что позволяет расширить ассортимент продуктов здорового питания и обеспечить доступность сезонной продукции в течение года.

Целью исследования является разработка технологических решений для получения сублимированного сока ягод черники, произведенного из ферментативно обработанной мякоти ягод, а также исследование его биохимического состава.

Для реализации поставленной цели решали следующие задачи:

1. Определить режимы замораживания и температуру сублимации сока для осуществления процесса сублимационной сушки;
2. Дать биохимическую характеристику сублимированному соку черники как источнику полезных для здоровья человека природных компонентов ягод;
3. Оценить эффективность выбранных режимов сублимации с позиции сохранности биологически активных веществ сока.

Реализация поставленных задач заложит основы для разработки технологии сублимированного сока ягод черники, обеспечивающей эффективность процесса сублимационной сушки и наиболее полное сохранение БАВ ягод при получении порошкового сублимата.

## 2. Объекты и методы

В качестве объектов исследования использовали следующие сырьевые компоненты: дикорастущая лесная черника шоковой заморозки урожая 2022 года, собранная в лесах Карелии. Ферментные препараты (ФП): «Целлозим премиум» (ООО «БИОТЕХНОАЛЬЯНС», Россия) и «Мацеробациллин» (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г. К. Скрыбина Российской академии наук ИБФМ РАН).

Для обоснования режимов замораживания и температуры сублимации применяли термический анализ. Криоскопическую температуру определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) в интервале температур от +12 °C до минус 50 °C на установке Q20 (TA Instruments, США) при потоке Ar, равном 50 мл/мин. Криоскопическая температура — это температура, при которой начинается выделение кристаллов льда из раствора без переохлаждения.

Полученное значение криоскопических температур для определения доли вымороженной влаги при каждой конкретной температуре определяли по формуле (1):

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{t} = 1 - \frac{273 - T_{кр}}{273 - T} \quad (1),$$

где  $\omega$  — доля вымороженной воды;

$t_{кр}$  — криоскопическая температура;

$t$  — текущая температура по шкале Цельсия;

$T_{кр}$  и  $T$  — криоскопическая и текущая температура по шкале Кельвина.

Анализ биохимических характеристик сока и сублимированного порошка черники выполняли с помощью физико-химических методов.

Массовую долю сухих веществ в соке определяли рефрактометрическим методом на рефрактометре ИРФ-454 Б2М (ОАО «Казанский оптико-механический завод», Россия).

Массовую долю влаги определяли гравиметрическим методом (высушиванием до постоянной массы при температуре 105 °C в сушильном шкафу LOIP LF-120/300-VS1 (ЗАО ЛоИП, Россия)).

Массовую долю золы определяли гравиметрическим методом с использованием муфельной печи СНОЛ 3/11 (ООО «Технотерм», Россия).

Содержание антоцианов определяли в соответствии с государственным стандартом<sup>1</sup> на спектрофотометре UNICO 2800 (United Products and Instruments, Inc, США).

Содержание хинной, яблочной и лимонной кислот исследовали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе Agilent модели 1260 Infinity II LC (Agilent Technologies, США). Использовали аналитическую колонку Zorbax ODS с размером частиц 5 мкм длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм. Подвижная фаза — раствор 0,2 М  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  с 2,4 ед. рН, скорость потока 0,8 мл/мин, температура колонки 20 °C, спектрофотометрический детектор с длиной волны 214 нм, объем инъекции 10 мкл.

Титруемую кислотность определяли потенциометрически в соответствии с государственным стандартом<sup>2</sup> на автоматическом титраторе АТП-02 (ООО «НПО Аквилон», Россия).

Суммарное содержание полифенольных соединений анализировали методом Фолина-Чокальтеу в соответствии с руководством<sup>3</sup> на спектрофотометре UNICO 2800 (United Products and Instruments, Inc, США).

Профиль и количественное содержание полифенолов определяли методом ВЭЖХ. Исследования проводили с применением высокоэффективного жидкостного хроматографа Agilent модели 1260 Infinity II LC (United Products Instruments, Inc, США), использовали

<sup>1</sup> ГОСТ 32709–2014 «Межгосударственный стандарт продукция соковая. Методы определения антоцианинов». М.: Стандартинформ, 2014. — 20 с.

<sup>2</sup> ГОСТ ISO 750–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности». М.: Стандартинформ, 2019. — 8 с.

<sup>3</sup> Р 4.1.1672–03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище». Утверждено и введено в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации Г. Г. Онищенко 30 июня 2003 г. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200034795>. Дата доступа 05.12.2023

аналитическую колонку Zorbax ODS с размером частиц 5 мкм, длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм, температура колонки 20 °С. Подвижная фаза: элюент А — дистиллированная вода, В — абсолютный метанол, С — смесь дистиллированной воды/ледяная уксусная кислота 96:4 (по объему). Программа градиента: 0 мин — 15% В и 85% С; 15 мин — 75% А и 25% В; 20 мин — 15% А и 85% В; 40 мин — 40% А и 60% В; 45 мин — 5% А и 95% В; 55 мин — 5% А и 95% В; 60 мин — 85% А и 15% В; 70 мин — 85% А и 15% В. При этом скорость подачи элюента составляла: 0 мин — 0,5 мл/мин; от 15 до 70 мин — 0,8 мл/мин. Объем вводимой пробы — 5 мкл. Детектирование осуществляли при 280 (галловая кислота, эпикатехин, коричневая кислота), 303 (ресвератрол), 330 (кофейная, хлорогеновая и феруловая кислота) и 360 нм (рутин и кверцетин); указанные длины волн были предварительно выбраны по спектрофотометрическим параметрам определяемых компонентов.

Профиль антоцианов исследовали методом ВЭЖХ на хроматографе Agilent модели 1260 Infinity II LC (United Products and Instruments, Inc, США) с использованием аналитической колонки Zorbax ODS с размером частиц 5 мкм, длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм, температура термостата 40 °С. Детектирование проводили на спектрофотометрическом детекторе при длине волны 518 нм. Объем инъекции — 5 мкл. Подвижная фаза: элюент А — 10%-ный раствор муравьиной кислоты; элюент В — 10%-ный раствор муравьиной кислоты, содержащий 50% ацетонитрила и 40% дистиллированной воды. Программа градиента: 0 мин — 88% А и 12% В; 26 мин — 70% А и 30% В; 35 мин — 0% А и 100% В; 43 мин — 88% А и 12% В.

Содержание никотинамида (РР) определяли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ-ВЭЖХ). Анализ проводили на хроматографе Agilent модели 1260 Infinity II LC с использованием аналитической колонки Zorbax ODS с размером частиц 5 мкм, длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм. Температура колонки составляла 25 °С, подвижная фаза — раствор дигидрофосфата калия 0,05 моль/л рН=3,0, скорость подачи элюента — 1 мл/мин. Объем вводимой пробы — 20 мкл. Детектирование осуществляли на спектрофотометрическом детекторе при длине волны 261 нм.

Определение витамина С осуществляли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. Использовали хроматограф Agilent модели 1260 Infinity II LC, аналитическую колонку Zorbax ODS с размером частиц 5 мкм, длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм. Подвижная фаза — раствор дигидрофосфата натрия 0,1 моль/л рН=2,5, скорость потока 0,65 мл/мин, температура колонки 25 °С, спектрофотометрический детектор с длиной волны 243 нм, объем инъекции 10 мкл.

Определение пантотеновой кислоты (В5) проводили методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ-ВЭЖХ) на хроматографе Agilent модели 1260 Infinity II LC с использованием аналитической колонки Zorbax ODS с размером частиц 5 мкм длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм. Температура колонки составляла (20±5) °С, подвижная фаза — раствор метанол: водный раствор фосфата натрия (1:9) с рН=2,5, скорость подачи элюента — 0,5 мл/мин. Объем вводимой пробы — 20 мкл. Детектирование осуществляли на диодноматричном детекторе при длине волны 220 нм.

Содержание глюкозы, фруктозы и сахарозы рассчитывали методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ-ВЭЖХ) с использованием хроматографа Agilent модели 1260 Infinity II LC, аналитической колонки Zorbax NH<sub>2</sub> с размером частиц 5 мкм длиной 250 мм и внутренним диаметром 4,6 мм. Подвижная фаза: ацетонитрил и дистиллированная вода в соотношении 80:20, скорость потока 1,4 см<sup>3</sup>/мин, температура термостата колонки (32±0,1) °С, рефрактометрический детектор, температура термостата ячейки детектора (32±0,1) °С, объем инъекции пробы 5 мкл.

Содержание общего белка определяли по методу Кьельдаля на анализаторе азота UDK 159 (VELP Scientifica SRL, Италия), который заключается в определении азота с последующим пересчетом на белок. Учитывая, что в исследуемых образцах низкое содержание липидов, коэффициент пересчета азота на белок брали равным 5,7.

Для определения микро- и макроэлементов использовали метод атомной абсорбции и атомно-абсорбционный спектрометр А-2 ООО «НПО Аквилон» с электротермической ячейкой и пламенной горелкой соответственно. Пробоподготовку проводили с применением системы микроволнового разложения speedwave MWS-2, (Berghof Products + Instruments GmbH, Германия). Разложение пробы проводили при следующих условиях: нагрев до давления 150 кПа со скоростью 20 кПа/мин, затем нагрев до давления 800 кПа со скоростью 80 кПа/мин, выдержка 1 мин при давлении 800 кПа, нагрев до

давления 1500 кПа со скоростью 80 кПа/мин, выдержка 10 мин при давлении 1500 кПа и охлаждение.

*Процедура ферментативной обработки ягод черники.* Ягоды черники дефростировали при комнатной температуре и подвергали измельчению. Полученную массу нагревали до 45 °С, периодически перемешивали, вносили ферментные препараты в концентрациях 0,01% каждый к массе ягодной мезги (8,8 ед. ЦЛС/г целлюлозы и 6667 ед. Пектат-ЛС/г пектина) и проводили гидролиз при температуре 45 °С в течение 90 минут [14]. По окончании гидролиза ферменты инактивировали нагреванием, затем прессованием отжимали сок через нейлоновую ткань плотностью 200 г/см<sup>2</sup>.

Сбор данных и обработку результатов проводили с помощью программных обеспечений: высокоэффективные жидкостные хроматографы Agilent модели 1260 Infinity II LC — OpenLab CDS2.5, потенциометрический титратор АТТИ-02 — Nitrate 5.x, атомно-абсорбционный анализатор — ААWin 3.0.

Все измерения были выполнены в трех параллельных измерениях, результаты представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Замораживание сока черники

Для получения мелкокристаллической структуры сок черники замораживали в морозильной камере при температуре минус 40 °С и при интенсивной циркуляции воздуха со скоростью 10 м/с [15].

#### 3.2. Вакуумная сублимационная сушка сока черники

Для выбора температуры сублимации был использован термический анализ сырья. Известно, что для эффективного проведения процесса сублимационной сушки фруктов и ягод из замороженного сырья должно быть удалено фазовым переходом «лед — пар» (т. е. сублимацией) порядка 85–90% содержащейся в объекте сушки влаги [15]. Числовая зависимость доли замороженной влаги при конкретной температуре — это индивидуальный параметр для каждого вида сырья.

Результаты термического анализа показали, что криоскопическая температура сока черники составляет минус 3,35 °С, что является достаточно низким значением для сырья растительного происхождения. По полученному значению криоскопической температуры рассчитана доля вымороженной влаги в зависимости от температуры продукта. Результаты исследования представлены на Рисунке 1.

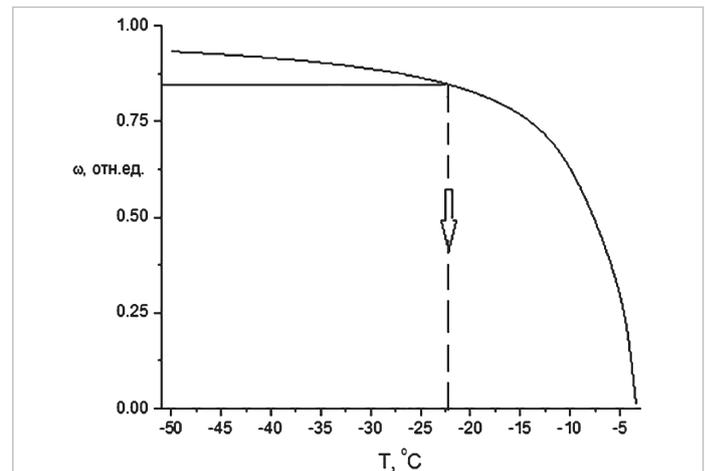


Рисунок 1. Зависимость доли вымороженной влаги от температуры замораживания в соке черники  
Figure 1. Dependence of the proportion of frozen-out moisture on a freezing temperature in blueberry juice

Данные Рисунка 1 свидетельствуют о том, что 90% вымороженной влаги в продукте достигается при температуре минус 23 °С. Это значение выбрано соответствующим температурой фазового перехода «лед — пар» при последующей сублимационной сушке.

Температуру досушивания выбирали из соображения обеспечения сохранности термолабильных компонентов, входящих в состав исследуемых образцов, которая должна составлять 38–40 °С. Продолжительность процесса сублимационной сушки составляла 16 часов. Критерием окончания сушки служила конечная влажность высушенных образцов — 4%.

Сублимированный сок черники представлял собой мелкодисперсный кристаллический порошок с насыщенным фиолетово-черным цветом и ярко выраженным ароматом черники (Рисунок 1). Вкус — кисло-сладкий, черничный, терпкий, вязущий.



Рисунок 2. Сублимированный сок черники из ферментативно обработанных ягод  
Figure 2. Freeze-dried blueberry juice from enzymatically processed blueberries

### 3.3. Исследование биохимического состава нативного и сублимированного соков черники

Для оценки эффективности выбранных режимов сублимации проводили анализ биохимического состава нативного и сублимированного соков. Результаты проведенных исследований представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Биохимическая характеристика нативного и сублимированного соков ягод черники

Table 1. Biochemical characterization of the native and freeze-dried blueberry juice

№ п/п	Показатель	Содержание на 100 г абсолютно сухого вещества (а. с. в.)	
		Нативный сок	Сублимированный сок
1.	Сухие вещества, г	10,1±0,04	96,0±2,0
2.	Зола, г	—	2,49±0,03
3.	Белок, г	—	1,32±0,75
4.	Органические кислоты, в пересчете на лимонную, г	14,06±0,15	13,9±0,15
5.	Глюкоза, г	30,10±3,34	29,72±2,84
6.	Фруктоза, г	42,65±5,53	42,0±5,4
7.	Полифенольные соединения, в пересчете на галловую кислоту, мг	4530±627	3940±503
8.	Антоцианы, в пересчете на цианидин-3-гликозид, мг	2594±311	2230±267

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n=3 при использовании коэффициента Стьюдента 0,95.

По результатам исследования определено, что основная масса сухих веществ в соке и сублимате приходится на органические кислоты и сахара, причем последние преобладают. Сахара представлены глюкозой и фруктозой, фруктоза доминирует, ее содержание в 1,4 раза превышает содержание глюкозы (Таблица 1, Рисунок 3). Сахарозы в соках не обнаружено, что согласуется с ранее проведенными результатами по исследованию химического состава ягод черники [16] (Рисунок 3).

Содержание органических кислот в соке и в сублимированном соке составляет соответственно 14,06±0,15 и 13,9±0,15 г/100 г а. с. в. (Таблица 2). Известно, что органические кислоты положительно влияют на органы системы пищеварения, играют важную роль в поддержании кислотно-щелочного баланса [17,18,19,20]. Кроме того, именно сахара и органические кислоты вносят весомый вклад в формирование вкусовой характеристики соков. Сахаро-кислотный

индекс (СКИ) нативного и сублимированного соков составлял 5,17 и 5,23 соответственно.

Как свидетельствуют данные хроматографических исследований, в наборе органических кислот в соке и сублимате сока выявлены хинная, яблочная, лимонная кислоты (Рисунок 4, Таблица 2).

Таблица 2. Содержание некоторых органических кислот в нативном соке и в сублимате сока черники

Table 2. Content of certain organic acids in native and freeze-dried blueberry juice

№ п/п	Наименование	Содержание, г/100 г абсолютно сухого вещества (а. с. в.)	
		Нативный сок	Сублимированный сок
1.	Хинная кислота	3,5±0,19	3,3±0,18
2.	Яблочная кислота	5,6±0,54	5,45±0,54
3.	Лимонная кислота	4,60±0,23	4,56±0,23

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n=3 при использовании коэффициента Стьюдента 0,95.

Установлено, что и в соке, и в сублимате сока черники преобладает яблочная кислота как доминирующая в ягодах черники [16]. Ее содержание в нативном и в сублимированном соках превосходит в 1,6 раза и в 1,2 раза содержание хинной и лимонной кислот соответственно. Как показывают результаты исследований, сублимация не оказывает заметного влияния на общее содержание и количественное перераспределение сахаров и органических кислот в соках.

Количество полифенолов в соке и в сублимате сока черники составляет 4530±627 и 3940±503 мг/100 г а. с. в. соответственно: общие потери составили 13% (Таблица 1). Полученные аналогичные результаты согласуются с данными других исследователей [21,22]. В составе полифенольных соединений идентифицированы кверцетин, рутин, эпикатехин, ресвератрол, а также фенолосоединения — галловая, коричная, хлорогеновая, кофейная и феруловая кислоты (Таблица 3).

Таблица 3. Содержание некоторых полифенольных соединений в соке и в сублимате сока черники

Table 3. Content of certain polyphenolic compounds in native and freeze-dried blueberry juice

№ п/п	Наименование	Содержание, мг/кг абсолютно сухого вещества (а. с. в.)	
		Сок	Сублимированный сок
1.	Галловая кислота	877,2±105	675,8±81
2.	Коричная кислота	42,1±5,0	34,5±3,1
3.	Кофейная кислота	173,6±20,8	147,6±14,6
4.	Хлорогеновая кислота	1478,3±177,4	1241,8±119,6
5.	Феруловая кислота	536,4±64,4	462,1±55,5
6.	Кверцетин	42,7±5,1	42,4±5,0
7.	Рутин	367,0±44,0	315,6±34,5
8.	Эпикатехин	11506,3±550	10402,7±600
9.	Ресвератрол	40,3±4,0	39,5,0±3,9

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n=3 при использовании коэффициента Стьюдента 0,95.

Основная польза полифенолов для организма заключается в их антиоксидантных свойствах [23,24,25,26]. Анализ данных исследований показывает, что среди выявленных флавоноидов преобладает эпикатехин: в соке его количество составляет 11506,3±550 мг/кг а. с. в. и в сублимате — 10402±600 мг/кг а. с. в. Эпикатехин — один из представителей природных мономерных катехиновых соединений, с присутствием которых довольно часто отождествляют чай зеленый. Потери эпикатехина при сублимационной сушке составили 9,6%. О высокой сохранности эпикатехина ранее сообщали [6] в своих исследованиях по изучению фенольного профиля плодов маоберри после сублимационной сушки. Самые известные флавоноиды — кверцетин и его гликозид, рутин — обнаруживаются в количествах 42,7±5,1; 42,4±5,2 мг/кг а. с. в. и 367,0±44,0; 315,6±34,5 мг/кг а. с. в. соответственно. Примечательно, что выбранные режимы сублимации позволяют сохранить в полном объеме кверцетин. Полученные нами результаты согласуются с наблюдениями других исследователей [27]. Потери рутина составили 14%. Рутин способствует улучшению кровообращения, а также укреплению сосудов за счет защиты

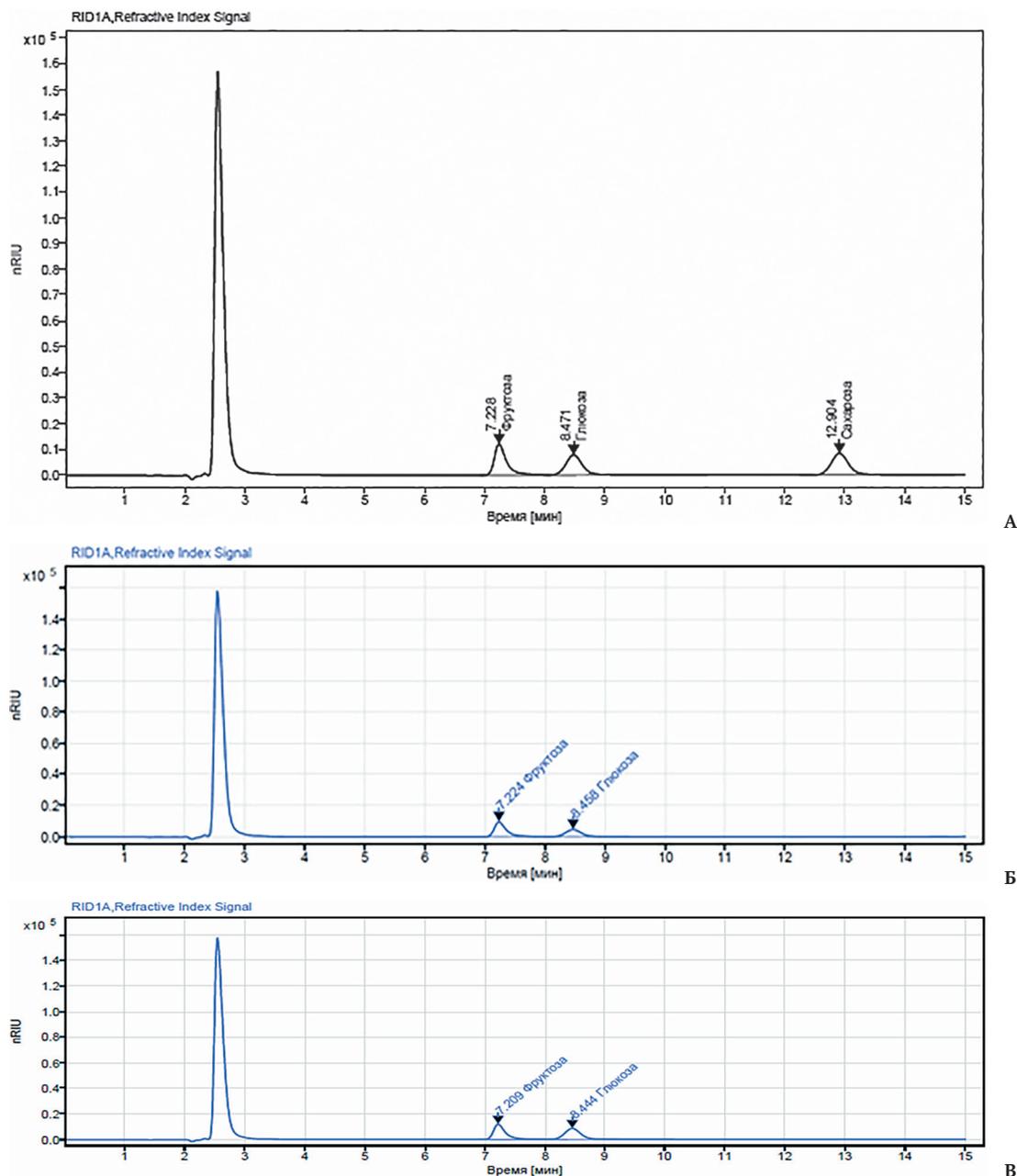


Рисунок 3. Хроматограммы стандартов глюкозы, фруктозы, сахарозы (А), сахаров нативного (Б) и сублимированного соков (В)

Figure 3. Chromatograms of the standards of glucose, fructose, saccharose (A), sugars of native (B) and (B) freeze-dried juice

липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) от окисления [28,29]. Мощный фенольный антиоксидант ресвератрол также обнаружен в составе нативного и сублимированного соков. Как и кверцетин, он хорошо сохраняется в процессе сублимации. Установлено, что ресвератрол и кверцетин ингибируют агрегацию тромбоцитов человека *in vitro* и обладают потенциальными противоопухолевыми свойствами за счет индукции клеточной дифференцировки и ингибирования протеинтирозинкиназы [30,31]. Некоторыми исследованиями доказано, что кверцетин и ресвератрол проявляют высокую активность у пациентов с сахарным диабетом 2 типа [31,32], что способствует эффективному снижению риска его развития [32,33]. Приводятся сведения, что ресвератрол способен опосредовать противовоспалительные процессы, ингибируя экспрессию циклооксигеназы-1 и 2 (ЦОГ-1 и 2) и функции гидропероксидазы [34,35].

Из обнаруженных гидроксикоричных кислот лидирует хлорогеновая кислота, в меньших концентрациях — феруловая, кофейная и коричная кислоты. Вышеуказанные кислоты обладают высокими антиоксидантными свойствами. Установлено, что антиоксидантная активность хлорогеновой кислоты в 27 раз превышает антиоксидантную активность нарингенина, присущего всем цитрусовым. По литературным данным, самой высокой антиоксидантной активностью

из выявленных в соках оксикоричных кислот обладает кофейная кислота, затем следуют феруловая и хлорогеновая кислоты [36]. Для хлорогеновой и кофейной кислот установлено гипогликемическое действие [37]. В литературе приводятся сведения, что хлорогеновая, кофейная, феруловая кислоты оказывают мягкое гипохолестеринемическое действие, снижают риск развития желчекаменной болезни [38,39,40,41]. Хлорогеновая кислота — самая значимая в количественном отношении фенолокислота ягод черники. Известно, что при тепловом воздействии она разрушается [42]. При сублимационной сушке ее потери составили 15,9%. Тем не менее в ранее проведенных исследованиях показано, что сублимационная сушка является более предпочтительной в отношении сохранности хлорогеновой кислоты в ягодах черники по сравнению с другими видами сушки [3].

В исследуемых образцах идентифицируется галловая кислота, содержание которой в соке составляет  $877,2 \pm 105$  мг/кг а. с. в, а сублимированном соке черники —  $675,8 \pm 47$  мг/кг а. с. в (Таблица 3). Галловая кислота обладает антибактериальным, антивирусным, гипогликемическим, антиоксидантным действием, ускоряет заживление ран и ожогов [43,44,45,46].

Известно, что различные биоактивные фенольные соединения эффективны при гипертонии [47,48], показана эффективность

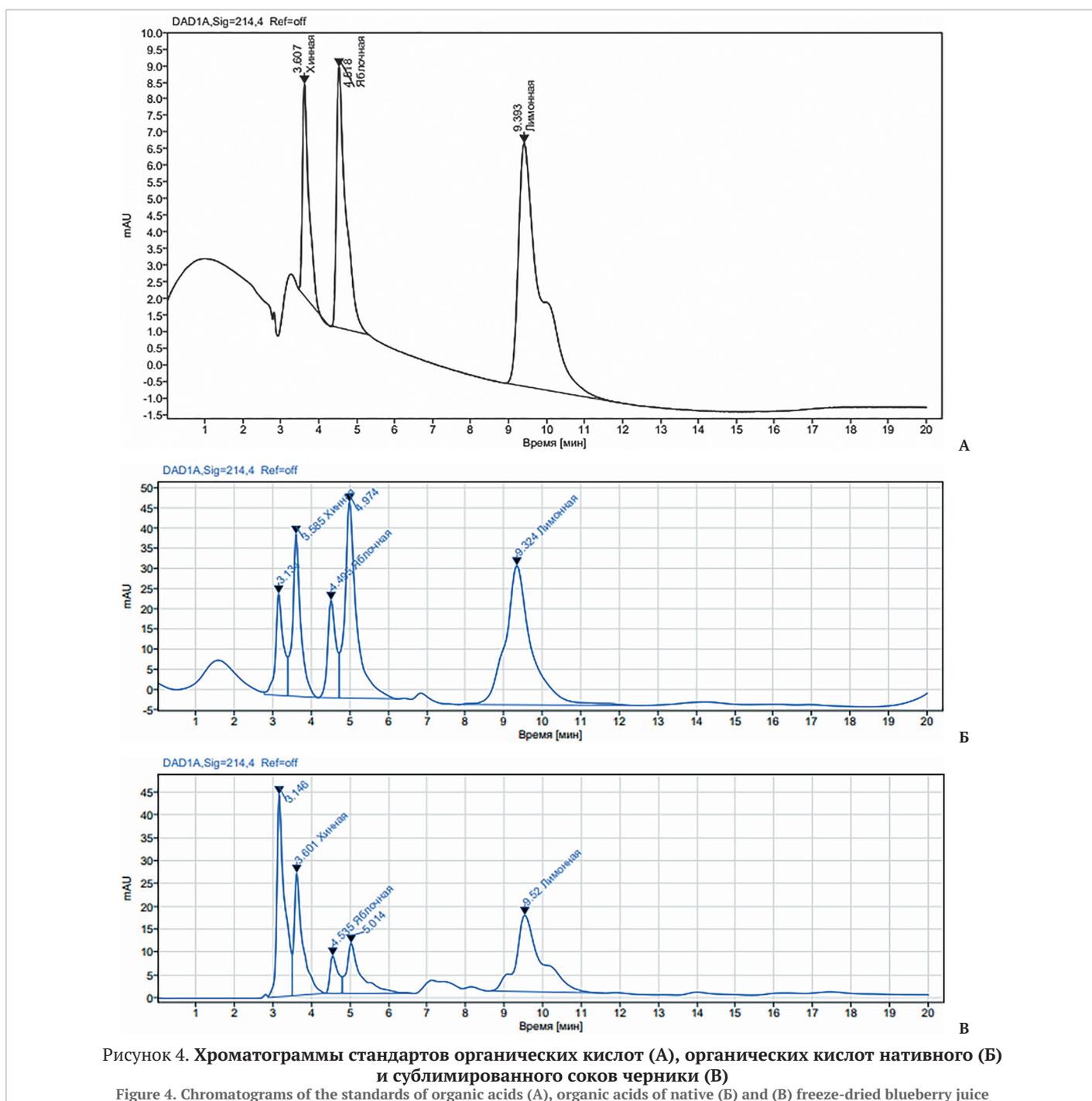


Рисунок 4. Хроматограммы стандартов органических кислот (А), органических кислот нативного (Б) и сублимированного соков черники (В)

Figure 4. Chromatograms of the standards of organic acids (A), organic acids of native (B) and (B) freeze-dried blueberry juice

полифенолов при ожирении [49,50,51,52]. В их числе — обнаруженные в соках отдельные представители — кверцетин, рутин, феруловая, кофейная, галловая кислоты, ресвератрол.

Анализ полученных результатов показал, что совокупные потери выявленных полифенольных веществ при сублимации составили 11,2%: по отдельным представителям — 9,6–23% (Таблица 3). Полученные результаты еще раз подтвердили вывод о том, что различные фенольные соединения обладают разной термической стабильностью [6,53] и кинетика термической деструкции всех фенольных соединений определяется главным образом фенольным составом, а также характеристиками сырья [54]. Наиболее уязвимыми с позиции сохранности в процессе сублимации показали себя фенолоксилокси: их потери составили 13,7–23%. Самые большие потери претерпевает галловая кислота (23%), наименьшие — феруловая (13,7%) (Таблица 3).

В семействе флавоноидов особое место занимают антоцианы, обуславливающие характерную окраску ягод и продуктов их переработки [55]. Доказана роль антоцианов в укреплении стенок сосудов и соединительной ткани как антиоксидантных и бактерицидных агентов [56,57,58]. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что нативный и сублимированные соки содержат

значительные количества антоциановых пигментов: 2594 мг/100 г а. с. в. и 2230 мг/100 г а. с. в. соответственно: потери антоцианов при сублимации составили 14% (Таблица 1). Подобная тенденция продемонстрирована на примере ягод клюквы: при температуре сублимационной сушки 30–50°C потери антоциановых соединений в целой ягоде и мезге не превышали 20% [4]. Показан более низкий уровень сохранности (до 65%) антоцианов в ягодах черники при сублимационной сушке [21]. При производстве ягодных порошков для сохранения антоциановых пигментов способ сублимационной сушки является наиболее выгодным, это описано в работе [8].

Сравнительный анализ результатов изучения сохранности фенолоксилокси и антоцианов показывает, что полученные данные выходят за рамки представлений, сформулированных в работах [6,59] и иллюстрирующих большую толерантность к теплу фенолоксилокси, чем антоциановых соединений. В настоящих исследованиях установлена обратная тенденция: потери фенолоксилокси (в частности, галловой кислоты — 23%) были выше, чем потери антоцианов (14%). В этом контексте следует сделать акцент и на том, что фенолоксилокси показали свою большую нестабильность и в сравнении с флавоноидами (кверцетин, рутин, эпикатехин): их потери выше (на 13,7–23%), чем

у отдельных представителей флавоноидов (Таблица 3), что также не согласуется с выводами авторов вышеприведенных работ. По всей видимости, это лишний раз подтверждает тот факт, что термическая деструкция фенольных соединений определяется не только термостабильностью отдельных ее представителей, но и фенольной композицией обрабатываемого сырья и его характеристиками.

Анализ профиля антоцианов соков черники показал наличие специфических индивидуальных антоцианов, построенных на основе пяти антоцианидинов — цианидина, дельфинидина, петунидина, пеонидина, мальвидина, гликозильрованных остатками глюкозы, галактозы, арабинозы (Таблица 4, Рисунок 5), что согласуется с результатами работ других ученых [27].

Таблица 4. Качественный и количественный состав антоцианов сока и сублимированного сока черники

Table 4. Qualitative and quantitative composition of anthocyanins of native and freeze-dried blueberry juice

№ п/п	Наименование антоциана	Содержание, %	
		Сок	Сублимированный сок
1	Дельфинидин-3-галактозид Dpd-gal	10,6	3,7
2	Дельфинидин-3-глюкозид Gpd-3-glu	13,2	17,8
3	Цианидин-3-галактозид Cyd-3-gal + Дельфинидин-3-арабинозид Dpd-3-ara	16,1	9,7
4	Цианидин-3-арабинозид Cyd-3-ara	10,3	12,8
5	Цианидин-3-глюкозид Cyd-3-glu	14,4	19,2
6	Петунидин-3-глюкозид Ptd-3-glu	4,5	2,2
7	Петунидин-3-арабинозид Ptd-3-ara	3,5	3,2
8	Пеонидин-3-глюкозид Pnd-3-glu + Мальвидин-3-галактозид Mvd-3-gal	7,2	8,5
9	Пеонидин-3-арабинозид Pnd-3-ara	12,7	15,3
10	Мальвидин-3-глюкозид Mvd-3-glu	4,7	4,4
11	Мальвидин-3-арабинозид Mvd-3-ara	2,8	3,2

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 3 при использовании коэффициента Стьюдента 0,95.

В составе нативного сока преобладали антоцианы, построенные на основе цианидина, дельфинидина и пеонидина: цанидин-3-галактозид + дельфинидин-3-арабинозид (16,1%), цианидин-3-глюкозид

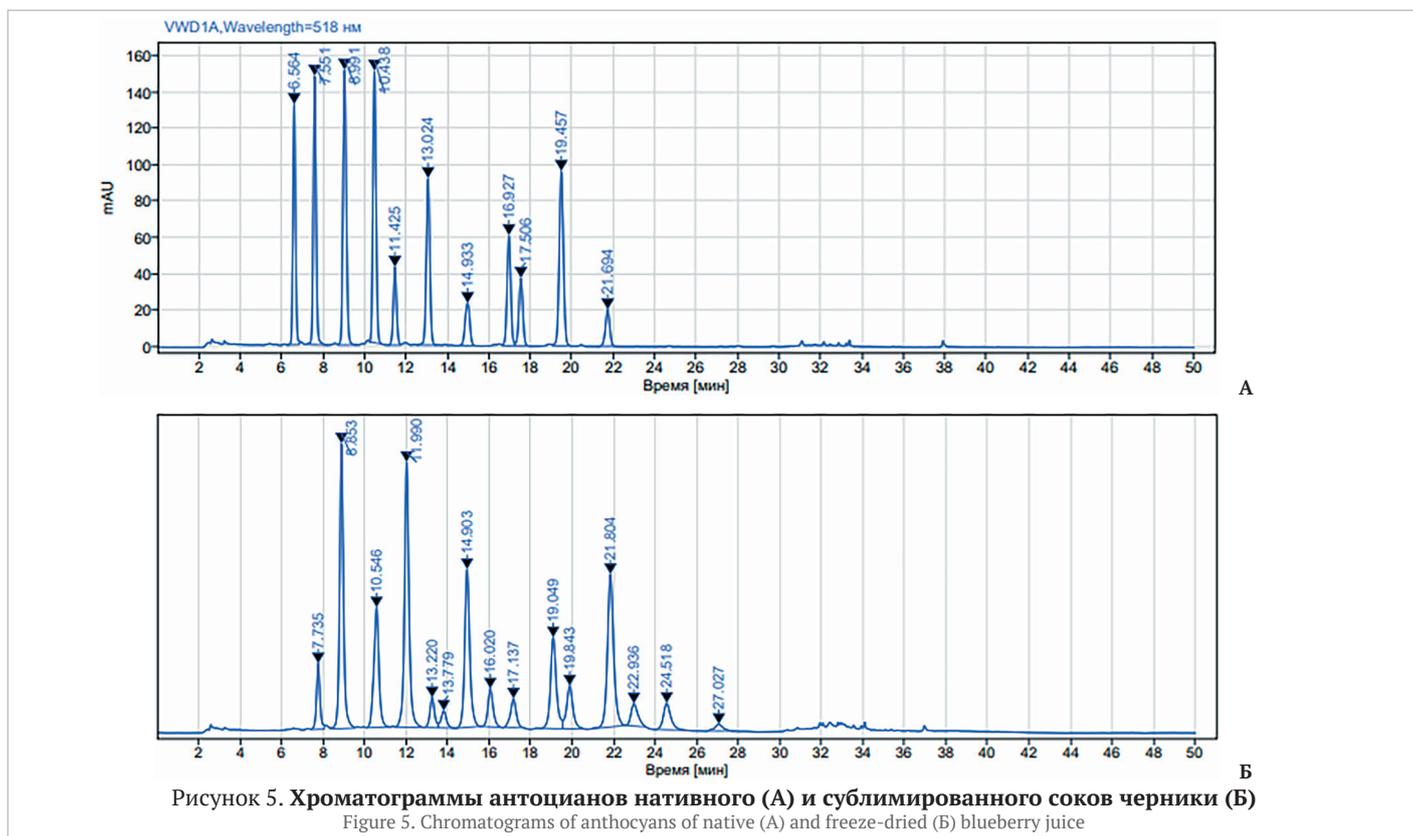
(14,4%), дельфинидин-3-глюкозид (13,2%), пеонидин-3-арабинозид (12,7%), дельфинидин-3-галактозид (10,6%), цианидин-3-арабинозид (10,3%) (Таблица 4). Содержание остальных представителей антоциановых соединений находилось на уровне 2,8–7,2%. Наиболее значимые в количественном отношении антоцианы показали хорошую сохранность и при сублимации: их содержание увеличилось в 1,2–1,35 раза, в том числе цианидин-3-глюкозида — одного из доминирующих антоцианов сока, что согласуется с ранее проведенными исследованиями, демонстрирующими высокую его сохранность в плодах маоберри и черники при сублимационной сушке [6,27]. Исключение составили цианидин-3-галактозид + дельфинидин-3-арабинозид и дельфинидин-3-галактозид: их доля в сублимате снизилась соответственно в 1,65–2,85 раза (Таблица 4).

Результаты исследования содержания витаминов (витамина С, никотинамида, витамина В5) в сублимате и в нативном соке показали их достаточно высокую сохранность при сублимации: потери составили 14–22%. Приводятся сведения о том, что сохранность витаминов группы В при сублимационной сушке в 3,5 раза выше, чем при сушке горячим воздухом, а сохранность витамина С — в 1,9 раза [3]. Витамин С — самый термолабильный витамин. В нашем исследовании наибольшие потери (22%) претерпел витамин С: его содержание снизилось с 358,5 ± 15,6 мг/100 г а. с. в. в нативном соке до 280,0 ± 12,2 мг/100 г а. с. в. в сублимате. Однозначных выводов о сохранности витамина С в литературе не приводится. Авторы указывают на широкую вариабельность результатов, характеризующих степень сохранности витамина С в плодах и ягодах при сублимационной сушке [60]. По-видимому, это связано с особенностями высушиваемого сырья, его химического состава, а также с условиями сублимации (Таблица 5).

Таблица 5. Содержание витаминов в соке и сублимате черники  
Table 5. Content of vitamins in native and freeze-dried blueberry juice

№ п/п	Наименование витамина	Содержание, на абсолютно сухое вещество (а. с. в.)	
		Сок	Сублимированный сок
1.	Витамин С, мг/100 г	358,5 ± 15,6	280,0 ± 12,2
2.	Никотинамид РР, мг/100 г	1,67 ± 0,14	1,42 ± 0,12
3.	Витамин В5, мг/100 г	108,2 ± 10,7	94,9 ± 7,0

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 3 при использовании коэффициента Стьюдента 0,95.



Проведен анализ макро- и микроэлементного состава нативного и сублимированного соков черники (Таблица 6). По данным Таблицы 6 следует, что соки содержат множество минеральных компонентов, выполняющих многочисленные функции в организме человека, что соки богаты различными минеральными компонентами, выполняющими многочисленные функции в организме человека.

Таблица 6. Содержание микро- и макроэлементов в соке и в сублимате черники

Table 6. Content of micro- and macro-elements in native and freeze-dried blueberry juice

№ п/п	Наименование элемента	Содержание на 100 г абсолютно сухого вещества (а. с. в.)	
		Сок	Сублимированный сок
Макроэлементы			
1.	Натрий, мг	32,0±3,2	30,0±3,0
2.	Кальций, мг	69,1±6,9	66,3±6,6
3.	Магний, мг	48,0±4,8	47,5±4,8
4.	Калий, мг	420,8±16,6	415,5±16,4
5.	Фосфор, мг	69,9±6,9	70,0±7,0
Микроэлементы			
6.	Железо, мг	4,13±1,44	3,9±1,36
7.	Марганец, мг	1,41±0,16	1,25±0,14
8.	Цинк, мкг	0,74±0,15	0,63±0,13
9.	Алюминий, мкг	0,48±0,10	0,42±0,09
10.	Медь, мкг	6,8±0,68	6,6±0,66
11.	Никель, мкг	0,049±0,010	0,056±0,010
12.	Селен, мг	0,22±0,07	0,20±0,07

Примечание: значения представляют собой средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы n = 3 при использовании коэффициента Стьюдента 0,95.

Целесообразность определения минеральных веществ в составе соков была продиктована их физиологической значимостью и эссенциальностью для организма человека. По количеству макроэлементов преобладающим является калий, далее в порядке убывания располагаются фосфор, кальций, магний, натрий. Макроэлементы участвуют в генерации и проведении возбуждения сердечной мышцы (калий, магний), входят в состав зубов, костей (кальций, магний), белков, нуклеиновых кислот, фосфолипидов (фосфор), регулируют водно-солевой баланс (натрий). В тройке лидеров микроэлементов присутствуют железо, марганец и селен (Таблица 7). Микроэлементы участвуют во всех основных процессах, протекающих в организме, поскольку входят в состав гормонов, витаминов, ферментов. Они необходимы для роста (цинк, марганец), кроветворения (железо, медь, цинк), синтеза соединительной ткани (медь), регулируют угле-

водный и жировой обмен (никель), защищают организм от вредных внешних воздействий (селен). Анализ представленных результатов показывает, что содержание выявленных макроэлементов в нативном и сублимированном соках меняется незначительно в процессе сублимации: потери составляют 0,1–6,0%, что согласуется с данными, полученными другими авторами [61]. Более заметное уменьшение наблюдается по содержанию микроэлементов — на 2,9–14,8%.

#### 4. Заключение

В результате проведенных исследований определены параметры процесса сублимационной сушки нативного сока ягод черники: температура сублимации — минус 23±2 °С, температура досушки — 38–40 °С. Продолжительность процесса сублимационной сушки для сока составляла 16 часов до получения конечной влажности 4%. Показано, что сублимированный сок сохраняет все атрибуты качества нативного сока: вкус, цвет, аромат.

На основании сравнительного биохимического анализа показано, что соки содержат богатый комплекс природных пищевых, биологически активных и минорных компонентов: исследованы профили флавоноидов, антоцианов, феноло- и органических кислот, состав сахаров, витаминов и минеральных веществ. Показано, что процесс сублимации не сопровождается качественными изменениями состава соков: в них идентифицируется одинаковый набор природных соединений. Установлено, что выбранные параметры сублимации позволяют минимизировать потери природных компонентов ягод: сохранность биологически активных и минорных веществ составила не менее 77% от их исходного содержания в нативном соке. Высокую сохранность продемонстрировали кверцетин и ресвератрол, потери эпикатехина составили 9,6%, фенолокислот 13,7–23,0%, витаминов 14–22%. Наиболее уязвимыми с позиции сохранности показали себя витамин С и галловая кислота: их содержание в сублимированном соке снизилось на 22 и 23% соответственно по сравнению с нативным соком. Анализ антоцианового профиля нативного и сублимированного соков выявил изменения в количественных соотношениях отдельных антоциановых соединений. Показано, что одни из наиболее значимых в количественном отношении антоцианы нативного сока (дельфинидин-3-глюкозид, цианидин-3-арабинозид, цианидин-3-глюкозид) хорошо сохраняются при сублимации: их содержание в процентном соотношении увеличилось в 1,2–1,35 раза, в то время как доля цианидин-3-галактозида + дельфинидин-3-арабинозида и дельфинидин-3-галактозида в сублимате снизилась соответственно в 1,65 и 2,85 раза. Установлено уменьшение в сублимате содержания макроэлементов (до 6,0%); более заметные потери зафиксированы у микроэлементов (до 14,8%). Анализ представленных результатов показал перспективность использования при получении сокового черничного сублимата технологии и выбранных режимов сублимации, обеспечивающих возможность получения технологичного ягодного ингредиента с максимальным сохранением природных биологически активных и минорных компонентов ягод для применения в продуктах здорового питания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Muñoz-Fariña, O., López-Casanova, V., García-Figueroa, O., Roman-Benn, A., Ah-Hen, K., José M. Bastias-Montes, J. M. et al. (2023). Bioaccessibility of phenolic compounds in fresh and dehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry Advances*, 2, Article 100171. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100171>
- Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 262, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>
- Rudy, S., Dziki, D., Krzykowski, A., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., Rozylo, R. et al. (2015). *LWT — Food Science and Technology*, 63(1), 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.067>
- Dincer, E. I., Temiz, H. (2023). Investigation of physicochemical, microstructure and antioxidant properties of firethorn (*Pyracantha coccinea* var. *lalandi*) microcapsules produced by spray-dried and freeze-dried methods. *South African Journal of Botany*, 155, 340–354. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.02.024>
- Kittibunchakul, S., Temviriyankul, P., Chaikham, P., Kemsawasd, V. (2023). Effects of freeze drying and convective hot-air drying on predominant bioactive compounds, antioxidant potential and safe consumption of maoberry fruits. *LWT*, 184, Article 114992. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114992>
- Алексеев, Е. В., Быстрова, Е. А., Семенов, Г. В., Черных, В. Я. (2017). Технология получения и оценка качества сублимированного порошка из ягод брусники. *Пищевая промышленность*, 11, 70–73.
- Cheng, A.-W., Xie, H.-X., Qi, Y., Liu, C., Guo, X., Sun, J.-Y. et al. (2017). Effects of storage time and temperature on polyphenolic content and qualitative characteristics of freeze-dried and spray-dried bayberry powder. *LWT*, 78, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.027>
- Pap, N., Fidelis, M., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V., Wang, D., Mocan, A. et al. (2021). Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*, 42, 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>
- Zhang, Y., Liu, W., Wei, Z., Yin, B., Man, C., Jiang, Y. (2021). Enhancement of functional characteristics of blueberry juice fermented by *Lactobacillus plantarum*. *LWT*, 139, Article 110590. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110590>
- Miller, K., Feucht, W., Schmid, M. (2019). Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. *Nutrients*, 11(7), Article 1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>
- Pires, T. C. S. P., Caleja, C., Santos-Buelga, C., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2020). *Vaccinium myrtillus* L. fruits as a novel source of phenolic compounds with health benefits and industrial applications—a review. *Current Pharmaceutical Design*, 26(16), 1917–1928. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200517132507>
- Urbanaviciene, D., Bobinaite, R., Viskelis, P., Bobinas, C., Petruskevicius, A., Klavins, L. et al. (2022). Geographic variability of biologically active compounds, antioxidant activity and physico-chemical properties in wild Bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.). *Antioxidants*, 11(3), Article 588. <https://doi.org/10.3390/antiox11030588>
- Каримова, Н. Ю., Алексеев, Е. В., Цветкова, А. А. (26–27 октября, 2022). Оценка эффективности применения отечественных и импортных ферментных препаратов для обработки ягод черники при получении сока. Материалы XXII международной научно-практической конференции. Барнаул: АлтГТУ, 2022.

15. Семенов, Г. В., Краснова, И. С. (2021). Сублимационная сушка. М.: Делфи, 2021.
16. Каримова, Н. Ю., Алексенко, Е. В., Цветкова, А. А., Бакуменко, О. Е. (2023). Сравнительная биохимическая характеристика ягод лесной и садовой черники как обоснование для применения в качестве источника функциональных пищевых ингредиентов. *Химия растительного сырья*, 4, 199–208. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412171>
17. Wang, Y., Fong, S. K., Singh, A. P., Vorsa, N., Johnson-Cicalese, J. (2019). Variation of anthocyanins, proanthocyanidins, flavonols, and organic acids in cultivated and wild diploid blueberry species. *HortScience*, 54(3), 576–585. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13491-18>
18. Pires, T. C. S. P., Dias, M. I., Calhella, R. C., Alves, M. J., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R. et al. (2021). Development of new bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) based snacks: Nutritional, chemical and bioactive features. *Food Chemistry*, 334, Article 127511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127511>
19. Liu, Q., Tang, G.-Y., Zhao, C.-N., Feng, X.-L., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y. et al. (2018). Comparison of antioxidant activities of different grape varieties. *Molecules*, 23(10), Article 2432. <https://doi.org/10.3390/molecules23102432>
20. Liu, Q., Tang, G.-Y., Zhao, C.-N., Gan, R.-Y., Li, H.-B. (2019). Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars. *Antioxidants*, 8(4), Article 78. <https://doi.org/10.3390/antiox8040078>
21. Никитенко, А. Н., Мазур, А. М., Синило, А. А., Клыпугенко, М. А. (2023). Исследование влияния технологических параметров переработки фруктового сырья на изменения содержания фенольных веществ. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 16(3), 19–26.
22. Альдиева, А. Б., Хамитова, Д. Д. (2023). Влияние параметров сублимационной сушки на содержание полифенолов и антоцианов в ягодах клубники. *Вестник Алматинского технологического университета*, 1(3), 52–56. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-3-52-56>
23. Петров, Н. А., Сидорова, Ю. С., Перова, И. Б., Кочеткова, А. А., Мазо, В. К. (2019). Комплекс полифенолов черники, сорбированных на гречневой муке, как функциональный пищевой ингредиент. *Вопросы питания*, 88(6), 68–72. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10066>
24. Colak, N., Torun, H., Gruz, J., Strnad, M., Hermosin-Gutiérrez, I., Hayirlioglu-Ayaz, S. et al. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food Chemistry*, 201, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
25. Dare, A. P., Günther, C. S., Grey, A. C., Guo, G., Demarais, N. J., Cordiner, S. et al. (2022). Resolving the developmental distribution patterns of polyphenols and related primary metabolites in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) fruit. *Food Chemistry*, 374, Article 131703. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131703>
26. Kolarov, R., Tukuljac, M. P., Kolbas, A., Kolbas, G., Ognjanov, V. et al. (2021). Antioxidant capacity of wild-growing bilberry, elderberry, and strawberry fruits. *Acta Horticulturae et Regiotechnicae*, 24(2), 119–126. <https://doi.org/10.2478/ahr-2021-0035>
27. Ochmian, I., Figiel-Kroczyńska, M., Lachowicz, S. (2020). The quality of freeze-dried and rehydrated blueberries depending on their size and preparation for freeze-drying. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 24(1), 61–78. <https://doi.org/10.2478/auceft-2020-0006>
28. Imani, A., Maleki, N., Bohlouli, S., Kouhsoltani, M., Sharifi, S., Dizaj, S. M. (2021). Molecular mechanisms of anticancer effect of rutin. *Phytotherapy Research*, 35(5), 2500–2513. <https://doi.org/10.1002/ptr.6977>
29. Satari, A., Ghasemi, S., Habtemariam, S., Asgharian, S., Lorigooini, Z. (2021). Rutin: A flavonoid as an effective sensitizer for anticancer therapy; insights into multifaceted mechanisms and applicability for combination therapy. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, Article 9913179. <https://doi.org/10.1155/2021/9913179>
30. Голубев, А. Г., Семиглазова, Т. Ю., Клюге, В. А., Каспаров, Б. С., Беляев, А. М., Анисимов В. Н. (2021). Три пандемии сразу: неинфекционная (онкологическая), инфекционная (COVID-19), и поведенческая (глипокинезия). *Вопросы онкологии*, 67(2), 163–180. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2022-68-6-708-716>
31. Трусов, Н. В., Балакина, А. С., Шипелин, В. А., Гмошинский, И. В., Тутельян, В. А. (2021). Влияние ресвератрола, карнитина, кверцетина и ароматических аминокислот на ферменты метаболизма ксенобiotиков и антиоксидантной защиты в печени при ожирении у крыс с разным генотипом. *Вопросы питания*, 90(2(534)), 50–62. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-50-62>
32. Bostancieri, N., Elbe, H., Eşrefoğlu, M., Vardi, N. (2022). Cardioprotective potential of melatonin, quercetin and resveratrol in an experimental model of diabetes. *Biotechnic and Histochemistry*, 97(2), 152–157. <https://doi.org/10.1080/10520295.2021.1918766>
33. Inchingolo, A. D., Inchingolo, A. M., Malcangi, G., Avantario, P., Azzollini, D., Buongiorno, S. et al. (2022). Effects of resveratrol, curcumin and quercetin supplementation on bone metabolism — A systematic review. *Nutrients*, 14(17), Article 3519. <https://doi.org/10.3390/nu14173519>
34. Huang, X.-T., Li, X., Xie, M.-L., Huang, Z., Huang, Y.-X., Wu, G.-X. et al. (2019). Resveratrol: Review on its discovery, anti-leukemia effects and pharmacokinetics. *Chemico-Biological Interactions*, 306, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2019.04.001>
35. Meng, T., Xiao, D., Muhammed, A., Deng, J., Chen, L., He, J. (2021). Anti-inflammatory action and mechanisms of resveratrol. *Molecules*, 26(1), Article 229. <https://doi.org/10.3390/molecules26010229>
36. Быстрова, Е. А., Алексенко, Е. В. (2017). Исследование компонентного состава фенольных соединений и антиоксидантной активности брусничного сока. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 7(3(22)), 19–26. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-19-26>
37. Kusumah, J., de Mejia, E. G. (2022). Coffee constituents with anti-dipogenic and anti-diabetic potentials: A narrative review. *Food and Chemical Toxicology*, 161, Article 112821. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112821>
38. Singh, A. K., Rana, H. K., Singh, V., Yadav, T. C., Varadwaj, P., Pandey, A. K. (2021). Evaluation of antidiabetic activity of dietary phenolic compound chlorogenic acid in streptozotocin induced diabetic rats: Molecular docking, molecular dynamics, in silico toxicity, in vitro and in vivo studies. *Computers in Biology and Medicine*, 134, Article 104462. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104462>
39. Li, H., Zhao, J., Deng, W., Li, K., Liu, H. (2020). Effects of chlorogenic acid-enriched extract from *Eucommia ulmoides* Oliver leaf on growth performance and quality and oxidative status of meat in finishing pigs fed diets containing fresh or oxidized corn oil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(4), 1116–1125. <https://doi.org/10.1111/jpn.13267>
40. Zhang, J., Wang, Z., Shi, Y., Xia, L., Hu, Y., Zhong, L. (2023). Protective effects of chlorogenic acid on growth, intestinal inflammation, hepatic antioxidant capacity, muscle development and skin color in channel catfish *Ictalurus punctatus* fed an oxidized fish oil diet. *Fish and Shellfish Immunology*, 134, Article 108511. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.108511>
41. Азарнова, Т. О., Резвых, А. М., Максимов, В. И., Кочиш, И. И., Луговая, И. С. (2021). Антиоксидантные свойства феруловой кислоты и основные результаты их реализации в промышленной инкубации индеек. *Ветеринария, зоотехника и биотехнология*, 1, 76–84. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202101010>
42. Dawidowicz, A. L., Typek, R. (2014). Transformation of 5-O-Caffeoylquinic acid in blueberries during high-temperature processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(545), 10889–10895. <https://doi.org/10.1021/jf503995q>
43. Gao, J., Hu, J., Hu, D., Yang, X. (2019). A role of gallic acid in oxidative damage diseases: A comprehensive review. *Natural Product Communications*, 14(8), Article 1934578X19874174. <https://doi.org/10.1177/1934578X19874174>
44. Celep, A. G. S., Demirkaya, A., Solak, E. K. (2022). Antioxidant and anticancer activities of gallic acid loaded sodium alginate microspheres on colon cancer. *Current Applied Physics*, 40, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2020.06.002>
45. Zahrani, N. A. A., El-Shishtawy, R. M., Asiri, A. M. (2020). Recent developments of gallic acid derivatives and their hybrids in medicinal chemistry: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 204, Article 112609. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112609>
46. Kahkeshani, N., Farzaei, F., Fotouhi, M., Alavi, S. S., Bahramsoltani, R., Naseri, R. et al. (2019). Pharmacological effects of gallic acid in health and diseases: A mechanistic review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 22(3), Article 225. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2019.32806.7897>
47. Habanova, M., Saraiva, J. A., Holovicova, M., Moreira, S. A., Fidalgo, L. G., Haban, M. et al. (2019). Effect of berries/apple mixed juice consumption on the positive modulation of human lipid profile. *Journal of Functional Foods*, 60, 103417. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103417>
48. Yousefian, M., Shakour, N., Hosseinzadeh, H., Hayes, A. W., Hadizadeh, F., Karimi, G. (2019). The natural phenolic compounds as modulators of NADPH oxidases in hypertension. *Phytomedicine*, 55, 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.08.002>
49. Boccellino, M., D'Angelo, S. (2020). Anti-obesity effects of polyphenol intake: Current status and future possibilities. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), Article 5642. <https://doi.org/10.3390/ijms21165642>
50. Nani, A., Murtaza, B., Khan, A. S., Khan, N. A., Hichami, A. (2021). Antioxidant and anti-inflammatory potential of polyphenols contained in Mediterranean diet in obesity: Molecular mechanisms. *Molecules*, 26(4), Article 985. <https://doi.org/10.3390/molecules26040985>
51. Singh, M., Thrimawithana, T., Shukla, R., Adhikari, B. (2020). Managing obesity through natural polyphenols: A review. *Future Foods*, 1–2, Article 100002. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2020.100002>
52. Ohishi, T., Fukutomi, R., Shoji, Y., Goto, S., Isemura, M. (2021). The beneficial effects of principal polyphenols from green tea, coffee, wine, and curry on obesity. *Molecules*, 26(2), Article 453. <https://doi.org/10.3390/molecules26020453>
53. Xu, G., Ye, X., Chen, J., Liu, D. (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 330–335. <https://doi.org/10.1021/jf062517>
54. Kumar, D., Ladaniya, M. S., Gurjar, M., Kumar, S. (2022). Impact of drying methods on natural antioxidants, phenols and flavanones of immature dropped *Citrus sinensis* L. Osbeck fruits. *Scientific Reports*, 12, Article 6684. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10661-7>
55. Юдина, Р. С., Гордеева, Е. И., Шоева, О. Ю., Тихонова, М. А., Хлесткина, Е. К. (2021). Антоцианы как компоненты функционального питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 25(2), 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ21.022>
56. Катасонов, А. Б. (2022). Антоцианы для профилактики и лечения нейродегенеративных заболеваний. *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*, 122(4), 16–22. <https://doi.org/10.17116/jnevro20221204116>
57. Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Krikorian, R., Stull, A. J., Tremblay, F. et al. (2020). Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
58. Alam, M. A., Islam, P., Subhan, N., Rahman, M. M., Khan, F., Burrows, G. E. et al. (2021). Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders. *Phytochemistry Reviews*, 20(4), 705–749. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09757-1>
59. Karaaslan, M., Yilmaz, F. M., Cesur, O., Vardin, H., Ikin, A., Dalgiç, A. C. (2014). Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and anthocyanins in pomegranate arils dried under vacuum conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 595–605. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12342>
60. Ермолаев, В. А. (2020). Подбор температурного режима сублимационного обезвоживания спирулины. *Вестник Международной академии холода*, 1, 84–88. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-1-84-88>
61. Темирова И. Ж., Оспанкулова Г. Х. (2023). Исследование влияния сублимационной сушки на органолептические показатели и содержание витамина С в ягодах малины. *Вестник Алматинского технологического университета*, 1(3), 57–62. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-3-57-62>

## REFERENCES

- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Muñoz-Fariña, O., López-Casanova, V., García-Figueroa, O., Roman-Benn, A., Ah-Hen, K., José M. Bastias-Montes, J. M. et al. (2023). Bioaccessibility of phenolic compounds in fresh and dehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry Advances*, 2, Article 100171. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100171>
- Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 262, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>
- Rudy, S., Dziki, D., Krzykowski, A., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., Rozylo, R. et al. (2015). *LWT – Food Science and Technology*, 63(1), 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.067>
- Dincer, E. I., Temiz, H. (2023). Investigation of physicochemical, microstructure and antioxidant properties of firethorn (*Pyracantha coccinea* var. *lalandi*) microcapsules produced by spray-dried and freeze-dried methods. *South African Journal of Botany*, 155, 340–354. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.02.024>
- Kittibunchakul, S., Temviriyankul, P., Chaikham, P., Kemsawasd, V. (2023). Effects of freeze drying and convective hot-air drying on predominant bioactive compounds, antioxidant potential and safe consumption of maoberry fruits. *LWT*, 184, Article 114992. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114992>
- Alekseenko, E. V., Bystrova, E. A., Semenov, G. V., Chernykh, V. Ya. (2017). Technology of obtaining and evaluation of the quality of freeze dried powder from red whortleberry. *Food Industry*, 11, 70–73. (In Russian)
- Cheng, A.-W., Xie, H.-X., Qi, Y., Liu, C., Guo, X., Sun, J.-Y. et al. (2017). Effects of storage time and temperature on polyphenolic content and qualitative characteristics of freeze-dried and spray-dried bayberry powder. *LWT*, 78, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.027>
- Pap, N., Fidelis, M., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V., Wang, D., Mocan, A. et al. (2021). Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*, 42, 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>
- Zhang, Y., Liu, W., Wei, Z., Yin, B., Man, C., Jiang, Y. (2021). Enhancement of functional characteristics of blueberry juice fermented by *Lactobacillus plantarum*. *LWT*, 139, Article 110590. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110590>
- Miller, K., Feucht, W., Schmid, M. (2019). Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. *Nutrients*, 11(7), Article 1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>
- Pires, T. C. S. P., Caleja, C., Santos-Buelga, C., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2020). *Vaccinium myrtillus* L. fruits as a novel source of phenolic compounds with health benefits and industrial applications—a review. *Current Pharmaceutical Design*, 26(16), 1917–1928. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200317132507>
- Urbanaviciene, D., Bobinaite, R., Viskelis, P., Bobinas, C., Petruskevicius, A., Klavins, L. et al. (2022). Geographic variability of biologically active compounds, antioxidant activity and physico-chemical properties in wild Bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.). *Antioxidants*, 11(5), Article 588. <https://doi.org/10.3390/antiox11030588>
- Karimova, N. Yu., Alekseenko, E. V., Tsvetkova, A. A. (October, 26–27, 2022). Assessment of the effectiveness of using domestic and imported enzyme preparations for processing blueberries in juice production. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International scientific-practical conference. Barnaul: AltSTU, 2022. (In Russian)
- Semenov, G. V., Krasnova, I. S. (2021). Freeze-drying. Moscow: DeLi, 2021. (In Russian)
- Karimova, N. Yu., Alekseenko, E. V., Tsvetkova, A. A., Bakumenko, O. E. (2023). Comparative biochemical characteristics of forest and garden bilberries as a rationale for use as a source of functional ingredients. *Khimiya Rastitel' nogo Syr'ya*, 4, 199–208. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412171> (In Russian)
- Wang, Y., Fong, S. K., Singh, A. P., Vorsna, N., Johnson-Cicalese, J. (2019). Variation of anthocyanins, proanthocyanidins, flavonols, and organic acids in cultivated and wild diploid blueberry species. *HortScience*, 54(3), 576–585. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13491-18>
- Pires, T. C. S. P., Dias, M. I., Calhella, R. C., Alves, M. J., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R. et al. (2021). Development of new bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) based snacks: Nutritional, chemical and bioactive features. *Food Chemistry*, 354, Article 127511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127511>
- Liu, Q., Tang, G.-Y., Zhao, C.-N., Feng, X.-L., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y. et al. (2018). Comparison of antioxidant activities of different grape varieties. *Molecules*, 23(10), Article 2432. <https://doi.org/10.3390/molecules23102432>
- Liu, Q., Tang, G.-Y., Zhao, C.-N., Gan, R.-Y., Li, H.-B. (2019). Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars. *Antioxidants*, 8(4), Article 78. <https://doi.org/10.3390/antiox8040078>
- Nikitenko, A. N., Mazyr, A. M., Sinilo, A. A., Klyputenko, M. A. (2023). Investigation of the influence of technological parameters of raw fruit processing on changes in the content of phenolic substances. *Food Industry: Science and Technology*, 16(3), 19–26. (In Russian)
- Aldiyeva, A. B., Khamitova, D. D. (2023). Influence of freeze-drying parameters on the content of polyphenols and anthocyanins in strawberries. *The Journal of Almaty Technological University*, 1(3), 52–56. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-3-52-56> (In Russian)
- Petrov, N. A., Sidorova, Yu. S., Perova, I. B., Kochetkova, A. A., Mazo, V. K. (2019). The complex of bilberry polyphenols, sorbed on the buckwheat flour as a functional food ingredient. *Problems of Nutrition*, 88(6), 68–72. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10066> (In Russian)
- Colak, N., Torun, H., Gruz, J., Strnad, M., Hermosín-Gutiérrez, I., Hayirlioglu-Ayaz, S. et al. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food Chemistry*, 201, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Dare, A. P., Günther, C. S., Grey, A. C., Guo, G., Demarais, N. J., Cordiner, S. et al. (2022). Resolving the developmental distribution patterns of polyphenols and related primary metabolites in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) fruit. *Food Chemistry*, 374, Article 131703. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131703>
- Kolarov, R., Tukuljac, M. P., Kolbas, A., Kolbas, N., Barac, G., Ognjanov, V. et al. (2021). Antioxidant capacity of wild-growing bilberry, elderberry, and strawberry fruits. *Acta Horticulturae et Regiotelecturae*, 24(2), 119–126. <https://doi.org/10.2478/ahr-2021-0033>
- Ochmian, I., Figiel-Kroczyńska, M., Lachowicz, S. (2020). The quality of freeze-dried and rehydrated blueberries depending on their size and preparation for freeze-drying. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 24(1), 61–78. <https://doi.org/10.2478/aucef-2020-0006>
- Imani, A., Maleki, N., Bohlouli, S., Kouhsoltani, M., Sharifi, S., Dizaj, S. M. (2021). Molecular mechanisms of anticancer effect of rutin. *Phytotherapy Research*, 35(5), 2500–2513. <https://doi.org/10.1002/ptr.6977>
- Satari, A., Ghasemi, S., Habtemariam, S., Asgharian, S., Lorigooini, Z. (2021). Rutin: A flavonoid as an effective sensitizer for anticancer therapy; insights into multifaceted mechanisms and applicability for combination therapy. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, Article 9913179. <https://doi.org/10.1155/2021/9913179>
- Golubev, A. G., Semiglazova, T. Yu., Klyuge, V. A., Kasparov, B. S., Belyaev, A. M., Anisimov, V. N. (2021). Three pandemics at once: Noninfectious (cancer), infectious (COVID-19), and behavioral (hypokinesia). *Voprosy Onkologii*, 67(2), 163–180. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2022-68-6-708-716> (In Russian)
- Trusov N. V., Balakina A. S., Shipelin V. A., Gmshinski I. V., Tutelyan V. A. (2021). Effect of resveratrol, carnitin, quercetin and aromatic amino acids on the xenobiotic metabolising and antioxidant enzymes in the liver during obesity in rats with different genotypes. *Problems of Nutrition*, 90(2(534)), 50–62. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-50-62> (In Russian)
- Bostancieri, N., Elbe, H., Eşrefoğlu, M., Vardi, N. (2022). Cardioprotective potential of melatonin, quercetin and resveratrol in an experimental model of diabetes. *Biotechnic and Histochemistry*, 97(2), 152–157. <https://doi.org/10.1080/10520295.2021.1918766>
- Inchingolo, A. D., Inchingolo, A. M., Malcangi, G., Avantario, P., Azzollini, D., Buongiorno, S. et al. (2022). Effects of resveratrol, curcumin and quercetin supplementation on bone metabolism — A systematic review. *Nutrients*, 14(17), Article 3519. <https://doi.org/10.3390/nu14173519>
- Huang, X.-T., Li, X., Xie, M.-L., Huang, Z., Huang, Y.-X., Wu, G.-X. et al. (2019). Resveratrol: Review on its discovery, anti-leukemia effects and pharmacokinetics. *Chemico-Biological Interactions*, 306, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2019.04.001>
- Meng, T., Xiao, D., Muhammed, A., Deng, J., Chen, L., He, J. (2021). Anti-inflammatory action and mechanisms of resveratrol. *Molecules*, 26(1), Article 229. <https://doi.org/10.3390/molecules26010229>
- Bystrova, E. A., Alekseenko, E. V. (2017). The research component composition of phenolic compounds and antioxidant activity of cranberry juice. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 7(3(22)), 19–26. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-19-26> (In Russian)
- Kusumah, J., de Mejia, E. G. (2022). Coffee constituents with antiadipogenic and anti-diabetic potentials: A narrative review. *Food and Chemical Toxicology*, 161, Article 112821. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112821>
- Singh, A. K., Rana, H. K., Singh, V., Yadav, T. C., Varadwaj, P., Pandey, A. K. (2021). Evaluation of anti-diabetic activity of dietary phenolic compound chlorogenic acid in streptozotocin induced diabetic rats: Molecular docking, molecular dynamics, in silico toxicity, in vitro and in vivo studies. *Computers in Biology and Medicine*, 134, Article 104462. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104462>
- Li, H., Zhao, J., Deng, W., Li, K., Liu, H. (2020). Effects of chlorogenic acid-enriched extract from *Eucommia ulmoides* Oliver leaf on growth performance and quality and oxidative status of meat in finishing pigs fed diets containing fresh or oxidized corn oil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(4), 1116–1125. <https://doi.org/10.1111/jpn.13267>
- Zhang, J., Wang, Z., Shi, Y., Xia, L., Hu, Y., Zhong, L. (2023). Protective effects of chlorogenic acid on growth, intestinal inflammation, hepatic antioxidant capacity, muscle development and skin color in channel catfish *Ictalurus punctatus* fed an oxidized fish oil diet. *Fish and Shellfish Immunology*, 134, Article 108511. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.108511>
- Azarnova, T. O., Rezvyh, A. M., Maksimov, V. I., Kochish, I. I., Lugovaya, I. S. (2021). Antioxidant properties of ferulic acid and the main results of their implementation in the industrial incubation of turkeys. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*, 1, 76–84. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202101010> (In Russian)
- Dawidowicz, A. L., Typek, R. (2014). Transformation of 5-O-Caffeoylquinic acid in blueberries during high-temperature processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(545), 10889–10895. <https://doi.org/10.1021/jf503993q>
- Gao, J., Hu, J., Hu, D., Yang, X. (2019). A role of gallic acid in oxidative damage diseases: A comprehensive review. *Natural Product Communications*, 14(8), Article 1934578X19874174. <https://doi.org/10.1177/1934578X19874174>
- Celep, A. G. S., Demirkaya, A., Solak, E. K. (2022). Antioxidant and anticancer activities of gallic acid loaded sodium alginate microspheres on colon cancer. *Current Applied Physics*, 40, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2020.06.002>
- Zahrani, N. A. A., El-Shishtawy, R. M., Asiri, A. M. (2020). Recent developments of gallic acid derivatives and their hybrids in medicinal chemistry: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 204, Article 112609. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112609>
- Kahkeshani, N., Farzaei, F., Fotouhi, M., Alavi, S. S., Bahramsoltani, R., Naseri, R. et al. (2019). Pharmacological effects of gallic acid in health and diseases: A mechanistic review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 22(3), Article 225. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2019.32806.7897>
- Habanova, M., Saraiva, J. A., Holovicova, M., Moreira, S. A., Fidalgo, L. G., Haban, M. et al. (2019). Effect of berries/apple mixed juice consumption on the pos-

- itive modulation of human lipid profile. *Journal of Functional Foods*, 60, 103417. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103417>
48. Yousefian, M., Shakour, N., Hosseinzadeh, H., Hayes, A. W., Hadizadeh, F., Karimi, G. (2019). The natural phenolic compounds as modulators of NADPH oxidases in hypertension. *Phytomedicine*, 55, 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.08.002>
49. Boccellino, M., D'Angelo, S. (2020). Anti-obesity effects of polyphenol intake: Current status and future possibilities. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), Article 5642. <https://doi.org/10.3390/ijms21165642>
50. Nani, A., Murtaza, B., Khan, A. S., Khan, N. A., Hichami, A. (2021). Antioxidant and anti-inflammatory potential of polyphenols contained in Mediterranean diet in obesity: Molecular mechanisms. *Molecules*, 26(4), Article 985. <https://doi.org/10.3390/molecules26040985>
51. Singh, M., Thrimawithana, T., Shukla, R., Adhikari, B. (2020). Managing obesity through natural polyphenols: A review. *Future Foods*, 1–2, Article 100002. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2020.100002>
52. Ohishi, T., Fukutomi, R., Shoji, Y., Goto, S., Isemura, M. (2021). The beneficial effects of principal polyphenols from green tea, coffee, wine, and curry on obesity. *Molecules*, 26(2), Article 453. <https://doi.org/10.3390/molecules26020453>
53. Xu, G., Ye, X., Chen, J., Liu, D. (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 330–335. <https://doi.org/10.1021/jf062517>
54. Kumar, D., Ladaniya, M. S., Gurjar, M., Kumar, S. (2022). Impact of drying methods on natural antioxidants, phenols and flavanones of immature dropped Citrus sinensis L. Osbeck fruits. *Scientific Reports*, 12, Article 6684. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10661-7>
55. Yudina, R. S., Gordeeva, E. I., Shoeva, O. Y., Tikhonova, M. A., Khlestkina, E. K. (2021). Anthocyanins as functional food components. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 25(2), 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ21.022> (In Russian)
56. Katasonov, A. B. (2022). Anthocyanins for the prevention and treatment of neurodegenerative diseases. *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, 122(4), 16–22. <https://doi.org/10.17116/jnevro202212204116> (In Russian)
57. Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Krikorian, R., Stull, A. J., Tremblay, F. et al. (2020). Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
58. Alam, M. A., Islam, P., Subhan, N., Rahman, M. M., Khan, F., Burrows, G. E. et al. (2021). Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders. *Phytochemistry Reviews*, 20(4), 705–749. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09757-1>
59. Karaaslan, M., Yilmaz, F. M., Cesur, O., Vardin, H., Ikin, A., Dalgiç, A. C. (2014). Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and anthocyanins in pomegranate arils dried under vacuum conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 595–605. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12342>
60. Ermolaev, V. A. (2020). Selection of the temperature regime for freeze-drying spirulina. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 1, 84–88. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-1-84-88> (In Russian)
61. Temirova, I. Zh., Ospankulova, G. Kh. (2023). Determination of organoleptic indicators and vitamin c content in freeze-dried raspberry. *The Journal of Almaty Technological University*, 1(3), 57–62. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-3-57-62> (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p><b>Алексеенко Елена Викторовна</b> — доктор технических наук, профессор, кафедра биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-499-750-01-11 E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-6208-0999">http://orcid.org/0000-0001-6208-0999</a></p>	<p><b>Elena V. Alekseenko</b>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe highway, 125080 Moscow, Russia Tel.: +7-499-750-01-11 E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-6208-0999">http://orcid.org/0000-0001-6208-0999</a></p>
<p><b>Каримова Наталья Юрьевна</b> — аспирант, начальник испытательного лабораторного центра, инжиниринговый центр «Передовые пищевые технологии и безопасность продуктов питания», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-499-750-01-11 E-mail: karimovanyu@mgupp.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-3848-1482">http://orcid.org/0000-0002-3848-1482</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Natalya Yu. Karimova</b>, Postgraduate Student, Head of the Testing Laboratory Center, Engineering Center “Advanced Food Technologies and Food Safety”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe highway, 125080 Moscow, Russia Tel.: +7-234-567-89-00 E-mail: karimovanyu@mgupp.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-3848-1482">http://orcid.org/0000-0002-3848-1482</a> * corresponding author</p>
<p><b>Семенов Геннадий Вячеславович</b> — доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, лаборатория композитных материалов, ЦКП «Перспективные упаковочные решения и технологии рециклинга», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-499-750-01-11 E-mail: sgv47@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-2320-9985">http://orcid.org/0000-0003-2320-9985</a></p>	<p><b>Gennadiy V. Semenov</b>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Laboratory of Composite Materials, Center for Collective Use “Advanced Packaging Solutions and Recycling Technologies”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe highway, 125080 Moscow, Russia Tel.: +7-499-750-01-11 E-mail: sgv47@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-2320-9985">http://orcid.org/0000-0003-2320-9985</a></p>
<p><b>Краснова Ирина Станиславовна</b> — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории композитных материалов, ЦКП «Перспективные упаковочные решения и технологии рециклинга», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-499-750-01-11 E-mail: ira3891@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-6658-0373">http://orcid.org/0000-0002-6658-0373</a></p>	<p><b>Irina S. Krasnova</b>, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Composite Materials, Center for Collective Use “Advanced Packaging Solutions and Recycling Technologies”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe highway, 125080 Moscow, Russia Tel.: +7-499-750-01-11 E-mail: ira3891@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-6658-0373">http://orcid.org/0000-0002-6658-0373</a></p>
<p><b>Бакуменко Олеся Евгеньевна</b> — доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра конструирования функциональных продуктов питания и нутрициологии, Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-499-750-01-11 E-mail: oebakumenko@mgupp.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-9532-6131">http://orcid.org/0000-0001-9532-6131</a></p>	<p><b>Olesya E. Bakumenko</b>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Docent, Professor, Department of Functional Design Food and Nutritional Science, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe highway, 125080 Moscow, Russia Tel.: +7-499-750-01-11 E-mail: oebakumenko@mgupp.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-9532-6131">http://orcid.org/0000-0001-9532-6131</a></p>
<p><b>Критерии авторства</b></p> <p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p><b>Contribution</b></p> <p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.</p>
<p><b>Конфликт интересов</b></p> <p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p><b>Conflict of interest</b></p> <p>The authors declare no conflict of interest.</p>