

УДК 634.733: 663.8: 663.05

Современное состояние и перспективы развития способов переработки ягод черники: обзор предметного поля

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)

Е. В. Алексеенко, Н. Ю. Каримова, А. А. Цветкова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Алексеенко Елена Викторовна
Адрес: 125080, г. Москва,
Волоколамское ш., д. 11
E-mail: AlekseenkoEV@mgupr.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Алексеенко, Е. В., Каримова, Н. Ю., & Цветкова, А. А. (2023). Способы переработки ягод черники: современное состояние и перспективы развития. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>

ПОСТУПИЛА: 12.08.2022

ПРИНЯТА: 05.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В ходе технологических процессов переработки ягод черники (*Vaccinium myrtillus*) в различной степени снижается количество природных биологически активных веществ (БАВ), в частности полифенольных комплексов и проантоцианидинов.

Цель. Проанализировать существующие технологии переработки черники для выявления перспектив комплексных технологий переработки черники, в том числе и с применением биотехнологических приемов, позволяющих получать различные продукты функциональной направленности.

Материалы и методы. Анализовали литературные источники, содержащие актуальную информацию о способах переработки ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.), опубликованные в период с 2010 по 2022 год. Использовали следующие поисковые системы и электронные библиотеки: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Medline, E-library.

Результаты. Выявлено, что наиболее перспективными способами, с точки зрения сохранности комплекса биоактивных веществ черники и интенсивности протекания технологических процессов, являются сублимационная и ИК-сушка, замораживание. Данные способы позволяют получить продукты (концентрированный сок, порошок черники) с минимальными потерями сырья и с максимальным сохранением витаминно-минеральных и антоциановых комплексов черники. Показано, что особый интерес представляют комплексные технологии, технологии глубокой переработки, базирующиеся на использовании комбинации физических и физико-химических процессов, и биотехнологии с применением высокоспецифичных ферментных препаратов, в том числе, комплексного действия.

Выводы. Анализ публикаций отечественных и зарубежных исследователей, посвященных комплексной и глубокой переработке ягод черники, позволил выявить проблемное поле исследований – недостаточная степень изученности и систематизации влияния технологических параметров на сохранность биологически активных комплексов черники. Особое значение для организации инновационных и технологичных перерабатывающих производств имеют комплексные технологии и технологии глубокой переработки, позволяющие повысить эффективность технологических процессов и получать широкий спектр пищевых ингредиентов и биологически активных веществ из вторичных продуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ягоды черники, сушка, замораживание, обработка кавитационными волнами, биотехнологическая переработка черники, комплексная переработка черники, глубокая переработка черники

The Current State and Prospects for the Development of Methods for Processing Bilberries: Scoping Review

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University)

Elena V. Alekseenko, Natalya Yu. Karimova, Alena A. Tsvetkova

CORRESPONDENCE:

Elena V. Alekseenko

Address: 125080, Moscow,
Volokolamskoe sh., 11
E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Alekseenko, E. V., Karimova, N. Yu., & Tsvetkova, A. A. (2023). The Current state and prospects for the development of methods for processing blueberries: *Scoping review. Storage and Processing of Farm Products*, (1), 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>

RECEIVED: 12.08.2022

ACCEPTED: 05.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. During the technological processes of processing blueberries (*Vaccinium myrtillus*), the amount of natural biologically active substances (BAS), in particular polyphenolic complexes and proanthocyanidins, is reduced to varying degrees. The analysis of publications of domestic and foreign researchers devoted to the complex and deep processing of blueberries made it possible to identify a problematic field of research – an insufficient degree of study and systematization of the influence of technological parameters on the safety of biologically active complexes of blueberries.

Purpose. The authors set a goal to critically analyze the existing blueberry processing technologies in order to identify the prospects for complex blueberry processing technologies, including those using biotechnological techniques that allow obtaining various functional products.

Materials and Methods. Literature sources containing up-to-date information on the methods of processing blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.), published in the period from 2010 to 2022, were analyzed. The following search engines and electronic libraries were used: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Medline, E-library.

Results. It is revealed that the most promising methods, from the point of view of the preservation of the complex of bioactive substances of blueberries and the intensity of technological processes, are sublimation and IR drying, freezing. These methods make it possible to obtain products (concentrated juice, blueberry powder) with minimal losses of raw materials and with maximum preservation of vitamin-mineral and anthocyanin complexes of blueberries. It is shown that complex technologies, deep processing technologies based on the use of a combination of physical and physico-chemical processes, and biotechnology with the use of highly specific enzyme preparations, including complex action, are of particular interest.

Conclusions. The analysis of the publications of domestic and foreign researchers devoted to the complex and deep processing of blueberries has revealed a problematic field of research – the insufficient degree of knowledge and systematization of the influence of technological parameters on the safety of biologically active blueberry complexes. Of particular importance for the organization of innovative and technologically advanced processing industries are complex technologies and technologies of deep processing, which make it possible to increase the efficiency of technological processes and obtain a wide range of food ingredients and biologically active substances from secondary products.

KEYWORDS

blueberries, drying, freezing, cavitation wave processing, biotechnological processing of blueberries, complex processing of blueberries, deep processing of blueberries

ВВЕДЕНИЕ

Черника и продукты её переработки — это ценное пищевое сырьё, представляющее собой многокомпонентную, полифункциональную, биологически активную систему, имеющую большой биотехнологический и биогенный потенциал (Куркин и соавт., 2011; Макарова & Еремеева, 2020). Отличительными особенностями черники являются не столько её общепризнанные высокие сенсорные характеристики, сколько разнообразный химический состав. По данным целого ряда исследований, в ягодах черники присутствуют пищевые и биологически активные вещества (БАВ): витамины (С, РР, В₁, каротиноиды), микроэлементы (марганец, цинк), углеводы (глюкоза, фруктоза, сахароза, пектин), органические кислоты (лимонная, молочная, хинная, щавелевая, яблочная и янтарная), тритерпеноиды (урсоловая кислота), эфирные масла, фенолы и их производные (гидрохинон, асперулозид, монотропезид), фенолокислоты (кофейная и хлорогеновая), катехины (галлокатехин, эпикатехин, эпигаллокатехин) (Stanoeva et al., 2017; Zorenc et al., 2018; Конюхова & Меркушева, 2021).

Подавляющее большинство веществ, содержащихся в чернике, отличаются мощными антиоксидантными, антиканцерогенными, нейропротекторными, противовоспалительными и защитными свойствами (Воробьева, 2015; Гольдина и соавт., 2015; Фрум и соавт., 2016; Ancillotti et al., 2016; Olas, 2017; Colak et al., 2017). Голубая окраска ягод, обусловлена высоким содержанием в их составе антоцианов (Burdulis et al., 2007; Primetta et al., 2013; Школьникова & Аверьянова, 2021). Антоцианы — это антиоксиданты растительного происхождения, которые представляют собой гликозилированные формы антоцианидинов, которые относятся к семейству флавоноидов (Куркин и соавт., 2014; Васяров и соавт., 2016). Черника за счёт содержания комплекса БАВ активно применяется в качестве обогащающего ингредиента в составе пищевой продукции (Pires et al., 2020; Aliman et al., 2020; Четвериков и соавт., 2016)

Свежие ягоды черники, согласно актуальным нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных

групп населения Российской Федерации (МР 2.3.1.0253–21¹), способны удовлетворить потребности взрослого человека согласно средних значений содержаний в ягодах черники в пищевых волокнах на 15 % ($3,1 \pm 0,50$ г/100 г), в витамине С на 41,0 % ($40,19 \pm 0,48$ мг/100 г), β-каротине на 10,4 % ($0,52 \pm 0,02$ мг/100 г), антоцианах по различным данным на 390...4993,7 % ($195,01 \pm 2,4...2497,6$ мг/100 г), гидроксibenзойных кислотах на 120,4 % ($60,2$ мг/100 г), в гидроксикоричных кислотах на 48,7 % ($97,4$ мг/100 г), в флаванолах на 671,3 % ($201,4$ мг/100 г), в флаван-3-олах на 89,0 % ($178,0$ мг/100 г) (Сайфулина, 2003; Типсина и соавт., 2010; Лозовская & Осипова, 2011; Prencipe et al., 2014; Белова и соавт., 2020; Конюхова & Меркушева, 2021; Vanekova & Rollinger, 2022).

Ягоды черники и продукты её переработки представляют собой перспективный источник пищевых и биологически активных веществ. Нутриентный состав ягод черники обуславливает её растущую популярность среди различных слоев населения и широкую востребованность при производстве продуктов здорового питания. Использование черники в питании возможно в свежем, замороженном и консервированном виде (Сергунова, 2013; Aura et al., 2015; Arevström et al., 2019). С учетом того, что сбор ягод черники носит сезонный характер, особую актуальность сегодня приобретают высокотехнологичные производства продуктов переработки ягод, обеспечивающих максимальное использование биохимического потенциала ягод и её функционально-технологических свойств. Обзор современного рынка показывает, что чернику с успехом перерабатывают в соки, джемы, варенье; применяют при получении мармелада, желе, соусов (Müller et al., 2012; Poiana et al., 2012; Коренева, 2013; Diez-Sanchez et al., 2021). Ведутся активные разработки в сфере технологий безалкогольных напитков, пищевых концентратов и различной консервированной продукции; возрастает интерес к переработке черники для получения ягодных полуфабрикатов — паст и порошков (Рензяева и соавт., 2014; Магомедов и соавт., 2016; Bilbao-Sainz et al., 2019). Разнообразие продуктов переработки ягод черники, их технологических форм обуславливает возможность применения в различных пищевых технологиях, при этом продукт должен быть

¹ МР 2.3.1.0253-21. (2021). Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/>

не только технологичен, но и обладать всем комплексом характеристик (пищевых и органолептических), которые свойственны исходным нативным ягодам. Исходя из этого, целью данной работы является анализ существующих технологий переработки черники для выявления перспектив комплексных технологий переработки черники, в том числе и с применением биотехнологических приемов, позволяющих получать различные продукты функциональной направленности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных

Проводили поиск источников, содержащие информацию о способах переработки ягод черники (*Vaccinium myrtillus L.*), в базах данных Scopus, Web of Science, и Medline, поисковой системе Google Scholar, в электронной библиотеке E-library.

Критерии включения/исключения источников

Использовали следующие ключевые слова для первичного поиска: «ягоды черники», «замороженные ягоды черники», «высушенные ягоды черники», «заморозка ягод черники», «черничные выжимки», «концентрированный сок черники», «порошок черники», «прессование ягод черники», «сушка ягод черники», «замораживание ягод черники», «обработка черники кавитационными волнами», «биотехнологическая переработка черники», «комплексная переработка черники», «глубокая переработка черники». Для источников на английском языке использовали ключевые слова: «blueberries», «frozen blueberries», «dried blueberries», «freezing of blueberries», «blueberry pomace», «concentrated blueberry juice», «blueberry powder», «pressing of blueberries», «drying of blueberries», «freezing of blueberries», «processing of blueberries cavitation waves», «biotechnological processing of blueberries», «complex processing of blueberries», «deep processing of blueberries».

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период с 2010–2022 год;
- (2) статьи соответствуют теме исследования;
- (3) типами анализируемых статей являются оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии.
- (4) статьи на английском языке соответствовали поисковым запросам на английском языке, содержали также латинское название черники (*Vaccinium myrtillus*). Причина в сходном переводе слова «blueberries» на русский язык: черника и голубика.

Критерии исключения

- (1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касаются тематики развития способов переработки ягод черники;
- (2) Статья написана не на русском или английском языках;
- (3) Статьи на английском языке соответствовали поисковым запросам на английском языке, но касались голубики (*Vaccinium uliginosum*). Источники, относящиеся к вопросам переработки голубики, (*Vaccinium uliginosum*), исключались.
- (4) Жанр статьи — не соответствует указанным жанрам по критериям включения;
- (5) Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

В результате были отобраны 74 источника (оригинальных, исследовательских статей — 67, обзорных статей — 4, монография - 1, диссертации — 2)

Отбор источников

Путем анализа аннотаций были отобраны 293 источника на русском и английском языках. Типами анализируемых статей являются оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии. Далее из полученной подборки осуществлялся отсев источников, не соответствующих в полной мере тематике исследования путём изучения полных текстов. По итогам отбора материалов в подборку, которая легла в основу

настоящего обзора, были включены 74 источников, из которых 42 — на русском языке, 32 — на английском языке. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали протокол PRIZMA (PRIZMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)² (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

Для анализа и систематизации отобранных источников составили сводную таблицу (Таблица 1 — фрагмент), в которой были отражены основные разделы и перечень вопросов, рассматриваемых в каждой конкретной публикации.

Рисунок 1

Порядок отбора источников в соответствии с протоколом PRIZMA



Таблица 1

Характеристики включенных в анализ исследований

Наименование источника	Наименование плодово-ягодного сырья	Содержание биологически активных веществ	Технологии переработки плодово-ягодного сырья	Технологии переработки черники
Karam, Petit et. all, 2016	Фрукты и овощи, есть упоминания о чернике	+	Процесс высушивания	+
Алексеевко, Бакуменко, Азарова, 2019	Клюква	+	Электромагнитные волны	–
Бутенко, Подгорная, 2016	Черная смородина, клубника, вишня, малина	+	Криообработка	–

Примечание. Из «Товароведно-технологическая характеристика дикорастущих черники и калины и продуктов их комплексной переработки [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]», З. Р. Сайфулина, 2003. «Исследование черники», Н. Н. Типсина, Н. Ю. Яковчик, 2013, *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (11), с. 283–285.

² PRIZMA. URL.: <http://prisma-statement.org/> (дата обращения: 12.03.2023).

В дальнейшем информация систематизировалась и концептуализировалась сквозь призму нарративного подхода. Все выявленные технологии ранжировались тематически:

- технологии механической обработки;
- технологии, основанные на процессах высушивания;
- технологии замораживания;
- технологии, основанные на кавитационных процессах;
- технологии, основанные на экстракционных процессах;
- биотехнологические переработки;
- технологии комплексной и глубокой переработки.

Информацию систематизировали по способам и видам переработки черники: прессование, высушивание, замораживание, кавитационная обработка, биотехнологии переработки черники, комплексные технологии и технологии глубокой переработки черники.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ источников показал, что основная часть публикаций (74,68%) появились в последние 10 лет: с 2013–2021 гг. Установлено, что для круглогодичного использования ягод черники применяют различные технологии консервирования. Традиционными и наиболее распространенными способами переработки ягод черники являются прессование с получением сока, сушка и замораживание (Дубкова & Тухбиева, 2010; Müller et al., 2012).

Технологии механической переработки черники

Соки прямого отжима (из целого и измельченного сырья) сегодня получают прессованием. Для этого применяют прессы поршневые, винтовые, гидравлические, шнековые и др. Продуктами механической переработки черники являются сок, который в дальнейшем может быть использован в различных видах (в охлажденном, замороженном, пастеризованном, концентрированном), и выжимки,

которые являются сырьем для производства порошков, паст, пищевых красителей, пищевых волокон и пр. (Громова и соавт., 2021). По традиционной технологии соков из плодово-ягодного сырья механическое измельчение является предварительной стадией (перед прессованием или различной термической обработкой). Механическое измельчение ягод — процесс известный с древнейших времен, направленный на разрушение клеток и дальнейшее отделение сока (Каржавина и соавт., 2015). Несмотря на достаточную простоту реализации данного способа переработки, он требует учёта некоторых факторов: на измельчение должны поступать зрелые ягоды, свободные от травянистой части (чашелистиков и плодоножек) без следов загнивания; ягодное сырьё легко подвергается деформации, но с учётом их малого размера далеко не все клетки подвергаются разрушению; ягодная мезга должна незамедлительно поступать на дальнейшую переработку, чтобы минимизировать окислительные процессы (Каржавина и соавт., 2015). Измельчение реализуется на дробилках различных конструкций⁵. Довольно часто механическое измельчение дополняется другими способами обработки ягодного сырья.

Оценку эффективности прессования как способа механической переработки ягод довольно сложно провести с позиции качественных характеристик соков прямого отжима, поскольку в литературных источниках не встречается информация о проведении систематических исследований, иллюстрирующих влияние параметров прессования на пищевую и биологическую ценность соков. В литературе, как правило, приводятся сведения, характеризующие состав ягод черники, позволяющие судить об их пищевой ценности (Сайфулина, 2003; Типсина & Яковчик, 2013; Каржавина и соавт., 2015). Результаты немногочисленных исследований, проведенных с ягодами красной смородины, брусники, облепихи дают возможность оценить эффективность прессования (без конкретизации режимов) с точки зрения экстракции в сок природных компонентов ягод. Показано, что механическое измельчение и последующее прессование позволяет перевести в сок органических кислот — 48–67%, редуцирующих сахаров — 57–59%, липидов — 33%, белка — 22%, полифенольных соединений — 33–51%, витамина

⁵ Машанов, А. И., & Зобнина Л. С. (2013). *Технологические схемы и процессы переработки животного и растительного сырья: Учебное пособие*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет.

С — 24–44% каротиноидов — 21%, токоферолов — 4,6% от общего их содержания в ягоде (Алексеевко, 2013). По ягодам черники подобных сведений не приводится.

Для увеличения эффективности прессования в работе (Pataro et al, 2017) предложена предварительная обработка ягод голубики в импульсном электрическом поле. Предварительная обработка привела к значительному увеличению выхода сока (на 32%) по сравнению с необработанным образцом. Наблюдалось увеличение содержания антоцианов (на 55%) и антиоксидантной способности (на 41%). Голубика имеет несколько отличающийся нутриентный состав, но несмотря на это данный вид предварительной обработки может стать многообещающим для эффективного извлечения сока и антиоксидантов из ягод черники. Соки прямого отжима подвергаются пастеризации, при этом срок годности достигает двух лет (Васюкова & Народов, 2008). Для решения логистических задач ягодные соки концентрируют, при этом применяют щадящие режимы концентрирования, что позволяет максимально сохранить комплекс полезных веществ ягод и многократно увеличить содержание природных компонентов.

Технологии переработки ягод черники, основанные на процессах высушивания

Сушка как метод консервирования ягод основан на прекращении процессов жизнедеятельности микроорганизмов. Для сохранности БАВ черники в настоящее время применяют конвективный, микроволновый, акустический, инфракрасный, вакуумный, сублимационный способы обезвоживания (Karam et al., 2016). Наиболее простым способом высушивания черники является конвективная сушка, основанная на воздействии теплоносителя (горячий воздух, пар) на частицы высушиваемого сырья и удалении смеси теплоносителя и воды. Температура теплоносителя может сильно варьировать (70–120 °С). Недостатками данного способа является длительность процесса высушивания, нежелательные изменения в химическом составе ягод. Согласно литературным данным, при конвективной сушке ягод черники ($t = 80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$) существенно снижается содержание витамина С (на 39%), антоцианов на 19,5% (Худоногова и соавт., 2012; Grimm et al., 2020). Результатами исследований Сайфу-

линой З.Р. показано, что применение конвективной сушки выжимок ягод черники при получении порошка позволило увеличить в нем содержание пектиновых веществ на 28%, моно- и дисахаридов на 39%, витамина С на 33%, титруемых кислот на 37% в пересчёте на а.с.в. При этом, как отмечает автор, содержание антоцианов уменьшилось на 2%, а содержание катехинов не изменилось (Сайфулина, 2003).

Способ сушки в электромагнитных полях заключается в действии высоких и сверхвысоких частот на плоды черники, которые способствуют равномерному прогреванию (глубина проникновения волн составляет около 10 см). Отличительной особенностью данного способа является то, что скорость сушки не зависит от теплопроводности продукта и поэтому не снижается (Четвериков, Моисеев, Лягина, 2016). Поскольку процесс высушивания с применением электромагнитного излучения проходит при относительно низких температурах ($t = 30\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$), в ягодах черники сохраняются БАВ (витамины С, В₁, минеральные вещества, флавоноиды). Из недостатков данного способа можно отметить достаточно низкий коэффициент полезного действия (около 60%), в связи с чем данный способ сушки целесообразно проводить для продуктов с низкой влажностью. Кроме того, воздействие электромагнитных волн ведет к разрушению клеточных оболочек и выделению клеточного сока (Алексеевко и соавт., 2019), поэтому применение СВЧ-энергии для обработки ягод может служить интенсифицирующим фактором при получении сока. Установлено, что СВЧ-энергия способствует увеличению выхода экстрактивных веществ, БАВ и обеспечивает микробиологическую стабильность продуктов переработки черники (Нилова и соавт., 2019). Предложены решения по переработке ягод черники в пищевой продукт, на начальных этапах совмещающие конвективную сушку и применение СВЧ-энергии на стадии досушивания. Разработанный способ позволяет снизить потери биологически активных веществ исходного сырья.

Акустический способ сушки основан на удалении влаги при воздействии ультразвука большой интенсивности (акустическая волна «выталкивает» влагу на поверхность продукта). Основными достоинствами такого вида сушки являются отсутствие повышения температуры в процессе обезвоживания, что исключает негативное действие высоких

температур на термолабильные компоненты ягод черники, а также достаточно высокие скорости высушивания (Макарова и соавт., 2020). Исследований о влиянии ультразвуковых волн на эффективность извлечения сока и БАВ ягод черники в сок, а также их сохранность в настоящий момент не обнаружено, однако, на примере плодов терна, установлено, что при «озвучивании» в течение 10–15 минут увеличивается выход антоцианов в среднем на 20% (Даудова и соавт., 2021). Приводятся сведения о применении УЗ-обработки (мощность ультразвуковых волн 16 кВт) в сочетании с температурой 45–50 °С для обработки ягод клюквы (Алексеенко и соавт., 2019). Показано, что при длительности обработки 15 минут: выход сока увеличивается на 16%, антоцианов — в 1,5 раза, что обуславливает повышение антиоксидантной активности сока на 10%.

Для совершенствования способов сушки используют обезвоживание в условиях вакуума, что позволяет проводить процесс при более низкой температуре и получать продукт с большей степенью сохранности нативных свойств. Вакуумная сушка — процесс удаления влаги при пониженном давлении, способствующем интенсификации удаления влаги за счёт повышения коэффициента массообмена. Нагревание при данном способе могут инициировать инфракрасные лампы, греющие поверхности или СВЧ-источники. Вакуумная сушка с успехом применяется для обезвоживания ягодного сырья. Согласно результатам Дубковой и Тухбиевой (2010) вакуумная сушка черники протекает в 2 раза быстрее контактной, при этом на 3,3% снижены потери антоцианов (Дубкова и соавт., 2010). К недостаткам данного вида обезвоживания можно отнести достаточно большие энергозатраты и высокую стоимость оборудования (Семенов и соавт., 2016). В исследованиях Дубковой и Тухбиевой (2010) предложен новый способ получения порошка из ягод черники. Высушиванию подвергаются ягоды, которые предварительно были заморожены в вакуумном аппарате, объединяющем в себе сушильный шкаф и мельницу, что позволяет одновременно проводить два этапа — высушивание и измельчение (Дубкова и соавт., 2010). Таким образом, существенно снижена температура процесса и продолжительность технологического процесса, что благоприятно отразилось на сохранности нутриентов. Содержание антоцианов в порошке, полученного методом вакуумной сушки, на 4,03% выше,

чем в порошке, полученном способом конвективной сушки (2,23 г/100 г) (Дубкова и соавт., 2010).

Сушка инфракрасными лучами (ИК) является одним из наиболее современных и перспективных способов удаления влаги, основанный на способности молекул воды поглощать инфракрасное излучение определенного спектра. При этом сушка может осуществляться при относительно невысоких температурах ($t = 40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Источниками ИК-излучения, как правило, выступают ИК-лампы, которые 80% своей энергии переводят в ИК-излучение, чем и объясняется высокая скорость и энергетическая эффективность данного способа (Акулич & Гостинщикова, 2013). Сохранность витаминов в ягодном сырье при данном виде обезвоживания составляет порядка 60–70%, что на 10–20% выше, чем при конвективной сушке (Борисова и соавт., 2008).

Предложен способ термической обработки ягод черники — сушка в поле ИК лучей, обеспечивающий увеличение интенсивности высушивания в 6–8-раз и более по сравнению с существующими способами сушки ягод, снижение потерь сырья, улучшение качества и устойчивости хранения продукта. Полученные результаты станут основой для разработки обогащенных чаев с высокими антиоксидантными свойствами (Микаберидзе и соавт., 2017).

Разработана технология получения порошка черники (массовая доля влаги 6%) из свежей и замороженной ягоды с одновременным использованием вакуумной сушки и вибрационного измельчения в одном устройстве, что способствует интенсификации процесса высушивания (в 2,5 раза по сравнению с конвективной сушкой), сокращению его длительности и сохранению биоактивных антоциановых соединений (Нуриахметова, 2019). При этом отмечается, что размер частиц порошка, произведенного по разработанной технологии, в 5 раз меньше, чем у порошка из ягод, сушеных в атмосферном сушильном шкафу.

Сублимационная сушка (лиофилизация) является одним из самых прогрессивных и эффективных способов сушки, позволяющим получать продукты переработки черники, максимально приближенные по качественным показателям к свежим ягодам. Сущность данного способа сушки заключается в удалении влаги из продукта при давлении ниже тройной точки воды (менее 611,6 Па).

В основу сублимационной сушки положен тот факт, что при таком давлении влага в продукте может присутствовать только в двух агрегатных состояниях — твердом и газообразном. Влага в продукте при этом переходит в кристаллическую фазу и сублимирует в окружающую среду. Одна из специфических особенностей сублимационной сушки заключается в том, что сублимация влаги не вызывает заметных изменений в реологических свойствах ягодного сырья, которое, к тому же, из-за отсутствия условий развития микроорганизмов имеет высокую микробиологическую стабильность. Поскольку большая часть влаги удаляется из сырья в замороженном состоянии, исключается негативное термическое воздействие на макро- и микронутриенты черники. По данным ряда исследований суммарное содержание антоцианинов в ягодах черники, прошедших лиофилизацию, составляет 649 мг/100 г (в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид), что на 14,0..31,0% выше, чем в исходном сырье (Бутенко & Подгорная, 2016; Colak et al., 2016; Иванова, 2018).

Для улучшения качества и внешнего вида черники при сублимации, рекомендована предварительная обработка ягод черники CO₂-лазером, за счёт чего, в плодах появляются микроотверстия, которые служат путями оттока водяного пара и процесс сублимации происходит гораздо быстрее, чем без обработки лазером. (Munzenmayer et al., 2020).

В работе (Grimm et al., 2020) предложена циклонная сушка, которая, в отличие от лиофильной и конвективной сушки, зарекомендовала себя как быстрый метод сушки ягод и выжимок, позволяющий отделить семена с помощью простого просеивания. Однако, обращаясь к сохранности антоцианового комплекса установлено, что в образцах, высушенных в циклоне при 90 °С общее содержание полифенолов, было ниже (на 32,5%), чем в образцах, высушенных в неподвижном слое. Это связано с тем, что сок засыхал на стенке циклона, образовывал отложения, что привело к потере материала, богатого полифенолами.

Из рассмотренных технологий по сушке, наиболее перспективным способом обезвоживания с точки зрения сохранности БАВ черники можно считать ИК-сушку и лиофилизацию.

Технологии переработки черники замораживанием

Замораживанию могут подвергаться как целые, так и измельченные ягоды черники. На данный момент различают три основных способа замораживания ягод: статическая заморозка (как правило в холодильной камере), IQG заморозка (Individual Quik Frozen, «шоковая заморозка) и криогенное замораживание (Bilbao-Sainz et al., 2019). Температурные диапазоны замораживания ягод составляют до -14...-60 °С. В ходе замораживания выделяют несколько стадий: охлаждение сырья до 0 °С; переход влаги в твердое агрегатное состояние при 0...-5 °С (подмораживание); домораживание при -5...-60 °С (Сергунова, 2013; Петров и соавт., 2014; Arevström et al., 2019; Конюхова & Меркушева, 2021). В исследованиях Сайфулиной З.Р. продемонстрировано влияние замораживания ягод черники при температуре -24...-30 °С на сохранность природных компонентов ягод. Показано, что потери витамина С составили 17%, каротина — 10%, катехинов и антоцианов — 2,7 и 2,2% соответственно по отношению к свежей ягоде в пересчёте на абсолютно сухие вещества (Сайфулина, 2003). Тем не менее, в работе (Сергунова, 2013) проиллюстрированы преимущества способа замораживания перед конвективной сушкой ягод. Установлено, что статическое замораживание ягод черники ($t = -18...-20$ °С) обеспечивает более полную сохранность биологически активных веществ ягод. Показано, что содержание дубильных веществ, антоцианов и органических кислот в замороженных ягодах выше на 26,7%, 44,1%, 30,0% соответственно, чем в высушенных ($t = 60-80$ °С) (Сергунова, 2013). Показано, что предварительное замораживание ягод черники как консервирования скоропортящегося продукта перед комплексной переработкой позволяет увеличить содержание биоактивных полифенольных соединений в 2 раза и антиоксидантную активность (в системе линолевая кислота) — на 38,4% по сравнению с исходной ягодой (Макарова и соавт., 2012). Как отмечают авторы, заморозка (в стационарных морозильных камерах при температуре — 18 °С) позволяет получить продукт, который характеризуется более высокими показателями по содержанию фенольных веществ и флавоноидов (в 2,4 и 1,15 раза соответственно) и проявляет антиоксидантную активность на уровне свежей ягоды. В работе Бутенко Л. И. и Подгорной Ж. В. проведена оценка перспектив криообработки ягод черники с позиции сохран-

ности антоцианового комплекса ягод. Установлено, что подобная обработка не сопровождается существенными потерями антоцианов, причем в сравнении с другими ягодами (черная смородина, клубника, вишня, малина) максимальная их сохранность обнаруживается в ягодах черники (Бутенко & Подгорная, 2016). Технология «шоковой» заморозки позволяет заморозить ягоды за минимальное время в потоке холодного воздуха. На примере других дикорастущих ягод (облепиха, кизил, ежевика, мушмула) в исследовании Гусейновой Б. М., установлено влияние «шоковой» заморозки на пищевую ценность ягод: сохранность витаминов С и Р, титруемых кислот, фенольных и пектиновых соединений, минеральных веществ составила 70–90% (Гусейнова, 2017).

Приводятся сведения о применении вымораживания при получении концентрированного сока черники из замороженного полуфабриката черники. Концентрированный сок отличается высокой пищевой и энергетической ценностью, которая обусловлена высоким содержанием сухих веществ 30%, большая часть которых представлена углеводами — 72%, выявлены значимые количества витамина С — 155 мг/100 г а.с.в., катехинов и антоцианов — 2249,3 мг/100 г и 7806 мг/100 г в пересчете на абсолютно сухие вещества соответственно. При этом автор отмечает, что применение вымораживания как технологического приема сопровождается уменьшением содержания антоцианов и катехинов на 17% и 18% соответственно. (Сайфулина, 2003)

Технологии переработки черники, основанные на кавитационных процессах

Кавитационные процессы — физические процессы, объединяющие в себе механическое, термическое и барометрическое воздействия при минимальных затратах на их создание. Существует несколько способов создания кавитации: ультразвуковой или акустической (кавитация создается за счет понижения давления, вызванного прохождением звуковой волны в обрабатываемой среде) и гидродинамической (кавитация возникает в жидкости при условии уменьшения давления вследствие роста местных скоростей потока) (Федоткин и соавт., 1998; Poiana et al., 2012). Бессараб А. С., Дашковский Ю. А. и Пахомова Е. Ю. провели сравнительную оценку традиционной технологии черничного

пюре (гомогенизация свежих ягод) и предложенной ими — с использованием гидродинамической установки типа ТЕК-СМ. Результаты исследования демонстрируют, что при использовании гидродинамических процессов отсутствует необходимость в стадиях бланширования и предварительного измельчения сырья. Показано, что гомогенизация, деаэрация и пастеризация продукта проходят в одном аппарате, что исключает многоступенчатость процесса, а, следовательно, и потери биологически активных веществ из-за окислительных процессов. При сравнении содержания фенольных соединений в пюре, полученных по традиционной и разработанной технологиям, выявлено, что их количество увеличилось на 7% по сравнению с содержанием в исходном сырье. Применение традиционной технологии сопровождалось уменьшением количества полифенолов на 1% по сравнению с разработанной (Бессараб и соавт., 2013).

Технологии переработки черники, базирующиеся на экстракционных процессах

Способы экстракции растворителями (водно-спиртовыми растворами, ацетоном) применимы в первую очередь к таким продуктам переработки черники, как выжимки. В работе (Aura et al., 2015) было исследовано влияние различных температур экстракции (22, 40, 60, 80 и 100 °С) в сочетании с разным временем экстракции (4, 15, 30 и 45 мин) на водную экстракцию фенольных соединений из жома черники. Установлено, что содержание антоцианов в экстрактах составило 47 до 313 мг/100 г прессового остатка, что соответствует 10–68% от содержания антоцианов в исходном сырье. Предложены способы ультразвуковой экстракции, микроволновой гидродиффузионной и гравитационной экстракции, импульсной экстракцией в электрическом поле (Ravi et al., 2018). Наибольшее содержание антоцианов ($98,46 \pm 4,92$ мг/100 г) было отмечено в экстрактах полученных комбинированным способом в импульсном электрическом поле с последующей горячей экстракцией водно-спиртовыми растворами (Ravi et al., 2018). Сверхкритическую (SC) и субкритическую (SubC) экстракцию диоксидом углерода использовали для улучшения экстракции и селективности выхода биологически активных соединений черники. Чернику экстрагировали SC CO₂, а затем SubC CO₂ с 10% раствором этанола в качестве соразтворителя. Суммарное

содержание фенолов при SubC-CO₂ + 10% раствор этанола составило 72,18 (±1,13) мг/г антоцианов в пересчете на а.с.в. Экстракты SubC CO₂ показали высокую антиоксидантную активность (DPPH IC₅₀ = 102,66 (±2,64); АБТС IC₅₀ = 8,49 (±0,41) и восстановительную силовую активность IC₅₀ = 10,30 (±0,10)). Экстракция черники SubC-CO₂ является эффективным методом селективного извлечения соединений с высокой антиоксидантной активностью и высоким потенциалом для фармакологического применения (Aaby et al., 2013; Babova et al., 2016).

Биотехнологическое направление переработки черники

Перспективными на сегодняшний день следует считать технологии, предполагающие использование ферментных препаратов (ФП) при переработке ягодного сырья в целевые продукты и ягодные полуфабрикаты. В настоящее время накоплен достаточно большой опыт по применению ФП в технологиях переработки плодов и ягод: Pectinex VEXXL, PectinexUltra SP-L компании Novozymes (Дания) (Кузьмина и соавт., 2017); Laminex BG2 (производитель — Genencor International BVBA, Бельгия), Фруктоцим П-6Л (производитель — Erbsloeh Geisenheim AG, Германия) (Алексеев и соавт., 2019; Хасанов & Баракова, 2021); препараты целлюлолитического и гемицеллюлитического действия: Целловиридин Г20Х (производитель — производственное объединение «Сиббиофарм», г. Бердск, Российская Федерация); Целлюкласт 1,5L (оригинальное название — Celluclast 1,5 L) (производитель — Novozymes A/S, Дания); Брюзайм ВGX (оригинальное название — BrewZyme ВGX) (производитель — «Polfa Tarchomin Pharmaceutical Works S.A.», Польша) (Иващенко, 2015); композиции ферментных препаратов пектолитического и глюканолитического действия: Рапидаза CR- Laminex BG2 (МЭК) (Быстрова & Алексеев, 2017).

Ферментные препараты с успехом используются в соковом производстве. Применение высокоспецифичных ферментных препаратов позволяет деликатно воздействовать на растительную ткань и провести расщепление структурных элементов клетки, что способствует улучшению процессов сокоотдачи и интенсификации процессов экстракции биологически активных веществ ягод в сок (Быстро-

ва & Алексеев, 2017). Доказана эффективность применения ФП пектолитического и целлюлолитического действия для обработки ягод брусники (Быстрова & Алексеев, 2017), клюквы (Алексеев & Бакуменко, 2019), черной и красной смородины и пр. (Кузьмина и соавт., 2017). Авторами показано, что предварительная ферментативная обработка ягод способствует увеличению выхода сока на 20...26%, природных компонентов ягод — в 1,1...2,5 раза, антиоксидантной активности соков в 1,4 раза. Предложен способ получения полуфабриката из тыквы и облепихи с повышенным содержанием пектина посредством обработки ФП пектолитического, целлюлолитического и гемицеллюлазного действия (Иващенко, 2015). Применение ФП позволяет выделить пектин с высокими качественными характеристиками, повысить его содержание в полуфабрикате в 1,5–2,0 раза, снизить себестоимость продукции, его энергоемкость и сохранить максимальное количество биологически активных веществ сырья.

Приводимые данные по переработки клюквы, брусники, тыквы и облепихи в условиях ферментативного гидролиза носят обзорный характер, так как сырье имеет отличительный от черники компонентный состав. Информация по применению ФП в технологиях переработки ягод черники в литературных источниках представлена ограниченным количеством публикаций. Приводятся сведения об эффективном применении пектолитического ферментного препарата PectinexUltra SP-L для обработки ягод черники при получении сока (Кузьмина и соавт., 2017). В работе Koronen J. В и других показано, что применение ферментных препаратов Econase CE (AB Enzymes, Rajamki, Finland), Biopectinase CCM (Carrigaline, Ireland), Pectinex Smash XXL (Novozymes, Denmark), Pectinex BE-3L (Novozymes, Switzerland) при переработке ягод черники значительно увеличили выход сока ($p < 0,001$) во всех опытах по сравнению с контрольной обработкой (без ферментов). Все ферментные препараты увеличили выход сока более чем на 72%, за исключением Econase CE (целлюлаза) (Koronen et al., 2008).

Недавние исследования показывают, что среди новых технологий ферментативный катализ привлекает внимание как экологически чистый, устойчивый метод экстракции для извлечения антиоксидантных соединений из побочных продуктов

черники (Lizárraga-Velázquez et al., 2020; Costa et al., 2020). По сравнению с традиционными методами ферментативная обработка предлагает значительные преимущества, такие как более высокий выход при более коротком времени экстракции, меньшее количество растворителя и потребление энергии (Puri et al., 2012; Gil-Chávez et al., 2013; Sagar et al., 2018). Тем не менее, получение экстрактов с более высокими выходами и улучшенными свойствами требует более глубокого понимания гидролитических свойств применяемых ферментов и физико-химических взаимодействий с сырьем. По этим причинам критические параметры ферментативной обработки, такие как pH, температура и концентрация ферментов, которые влияют на высвобождение биоактивных веществ, требуют оптимизации для каждого конкретного процесса.

Тем не менее, несмотря на ограниченную информацию, возможности и достоинства применения биотехнологических приемов, продемонстрированные на примере других ягодных культур, позволяют уверенно говорить о перспективах использования ФП при переработке ягод черники в целевые продукты и полуфабрикаты. Принимая во внимание уникальный химический состав ягод, представляет интерес более подробно осветить вопросы, касающиеся изучения влияния ферментативной обработки ягод черники в комбинации с другими прогрессивными способами на химический состав, трансформацию полифенольных комплексов, антиоксидантную активность и другие потребительские качества целевых продуктов или полуфабри-

катов из ягод черники. Данный факт, несомненно, свидетельствует о необходимости проведения исследований в указанном направлении.

Технологии комплексной и глубокой переработки черники

Одним из прогрессивных путей переработки ягод черники является разработка и внедрение глубокой и комплексной технологий, минимизирующих образование отходов. Технологии глубокой переработки ягод основаны на комплексном внедрении современных технологий измельчения, фракционирования, сушки, замораживания, экстрагирования ягодного сырья (Oliveira et al., 2019; Höglund et al., 2018). Они решают вопросы использования вторичных продуктов её переработки: выжимок и мезги (Aura et al., 2015; Höglund et al., 2018; Karam et al., 2016). Черничные выжимки составляют до 20–30% от исходной массы ягод черники и включают в себя кожицу, мякоть, семена и съедобные части плодоножек, содержат витамины, клетчатку, полифенолы (в т.ч. антоцианы) (Aura et al., 2015). Несмотря на высокое содержание ценных соединений, выжимки считаются отходом и обычно перерабатываются в корма для животных, компостируются или утилизируются из-за проблем, связанных с коротким сроком хранения, текстурой и вкусом. В Таблице 2 приведены сводные данные по содержанию пищевых и биологически активных веществ в свежих ягодах и в продуктах их переработки: замороженные ягоды подвергались

Таблица 2
Изменение химического состава черники в процессе её переработки

Показатели	Свежие ягоды	Замороженные	Сок натуральный	Сок концентрированный	Выжимки	Порошок
Массовая доля влаги, %	85,37 ± 0,21	84,26 ± 0,31	—*	29,70	30,44 ± 1,0	8,19 ± 0,6
Углеводы (моно- и дисахариды), %	8,19 ± 0,17	8,61 ± 0,19	7,70 ± 0,51	21,60 ± 0,21	7,17 ± 0,23	24,4 ± 0,66
Крахмал, %	—*	—*	—*	—*	—*	4,70
Клетчатка, %	3,1 ± 0,50	—*	—*	—*	—*	18,60
Пектиновые вещества, %	2,68 ± 0,05	2,26 ± 0,18	—*	—*	2,12 ± 0,22	3,84 ± 0,36
Органические кислоты, %	1,00 ± 0,04	1,28 ± 0,04	—*	—*	—*	—*
Витамин С, мг/100 г	40,19 ± 0,48	35,83 ± 1,28	25,59 ± 0,98	46,51 ± 2,08	8,91 ± 1,47	17,7 ± 1,0
Каротин, мг/100 г	0,52 ± 0,02	0,50 ± 0,02	—*	—*	—*	—*

Показатели	Свежие ягоды	Заморожен- ные	Сок натураль- ный	Сок концен- трированный	Выжимки	Порошок
Катехины, мг/100 г	505,68 ± 18	558,60 ± 12	375,11 ± 36	674,78 ± 29	536,6 ± 15	702,9 ± 19
Антоцианы, мг/100 г	1782,47 ± 28	1875,30 ± 17	1634,19 ± 71	2341,89 ± 65	2216 ± 35	2855 ± 82
Титруемая кислотность, %	0,39	—*	1,42 ± 0,02	2,67 ± 0,09	0,81 ± 0,05	2,82 ± 0,04
Сухие вещества, %	51,40	—*	10,11 ± 0,48	82,40	—*	10,00 ± 2,00
Натрий, мг/кг	19,7 ± 0,02	—*	—*	—*	—*	—*
Калий, мг/кг	266,8 ± 0,2	—*	—*	—*	0,3 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Кальций, мг/кг	16,4 ± 0,04	—*	—*	—*	0,03 ± 0,001	0,16 ± 0,01
Магний, мг/кг	6,4 ± 0,02	—*	—*	—*	10,1 ± 0,01	22,9 ± 0,02
Марганец, мг/кг	41,6 ± 0,13	—*	—*	—*	66,3 ± 0,11	68,8 ± 0,03
Фосфор, мг/кг	21,3 ± 0,01	—*	—*	—*	0,04 ± 0,03	0,23 ± 0,01
Железо, мг/кг	7,1 ± 0,03	—*	—*	—*	11,8 ± 0,02	47,1 ± 0,14
Кобальт, мг/кг	следы	—*	—*	—*	0,04 ± 0,01	0,01 ± 0,001

Примечание. Из «Товароведно-технологическая характеристика дикорастущих черники и калины и продуктов их комплексной переработки [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]», З. Р. Сайфулина, 2003. «Исследование черники», Н. Н. Типсина, Н. Ю. Яковчик, 2013, *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (11), с. 283–285.

статическому замораживанию при температуре $-24...-30^{\circ}\text{C}$, сок натуральный получен путём пресования свежих ягод черники, концентрированный сок — путём криоконцентрирования ($t = -24^{\circ}\text{C}$) сока до содержания сухих веществ 30%, порошок черники был получен при помощи распылительной сушилки выжимок черники, оставшихся после пресования ($t = 55^{\circ}\text{C}$) (Сайфулина, 2003; Типсина & Яковчик, 2013).

Исходя из данных Таблицы 1, можно судить о некоторых закономерностях изменений нутриентного состава ягод черники в процессе их переработки. Содержание углеводов моно- и дисахаридов $24,4 \pm 0,06$ г/100 г, пектиновых веществ $3,84 \pm 0,36$ г/100 г и клетчатки $18,62$ г/100 г. Как известно, биологически активные вещества в процессе переработки (в основном за счёт термических воздействий) разрушаются. Однако, на основании приведённых результатов, флавоноидный комплекс черники не только сохраняется, но и отмечено увеличение содержание отдельных его представителей: в концентрированном соке на 33,4% выше содержание катехинов и на 31,4% — антоцианов, чем в свежих ягодах. На 79% и на 43% больше соответственно, чем в натуральном соке. Витамин

С крайне неустойчив и быстро разрушается при нагревании и воздействии внешних условий, но, как видно из таблицы, в замороженных ягодах и соках концентрированном и натуральном, варьируется от 25 до 46 мг/100г, в то время как в выжимках и в порошке 8,9 и 17,7 мг/100г соответственно. Изменения, касающиеся микронутриентного состава в процессе переработки, изучены на сегодня недостаточно. По совокупности показателей, характеризующих изменения в химическом составе ягод и продуктов переработки черники, установлено, что наиболее перспективным способом переработки ягод черники, с точки зрения сохранности пищевых и биологически активных веществ, является распылительное высушивание с получением порошка. Результатами проведенных исследований убедительно показано, что образующиеся в ходе традиционного технологического процесса получения соков вторичные продукты — выжимки представляют несомненный интерес для пищевиков-технологов, поскольку являются источником полезных для здоровья человека компонентов, в том числе пищевых волокон, эссенциальных и минорных веществ и могут быть использованы как самостоятельно в составе рецептов пищевых продуктов, так и служить сырьевой базой для полу-

чения пектина, природных красителей и антиоксидантов (Aaby et al., 2013; Aura et al., 2015; Babova et al., 2016; Громова и соавт., 2021).

Предложена энерго- и ресурсоэффективная технология получения порошка из выжимок ягод черники после производства сока, где выжимки сушат при температуре 55 °С, затем измельчают. Здесь неоспоримыми преимуществами технологии получения порошка из черники являются сокращение продолжительности технологического цикла, приемлемая конечная дисперсность и сохранность антоцианов в готовом продукте (по сравнению с конвективной сушкой) (Нуриахметова, 2019). Исследованы режимы получения водных экстрактов из выжимок ягод черники с применением СВЧ-энергии (Нилова и соавт., 2019). Установлено влияние СВЧ-обработки на оптические характеристики полученных экстрактов, обусловленные присутствием антоцианов, что можно использовать для оптимизации гидромодуля и режимов экстракции для выделения природных красителей. Показана принципиальная возможность выделения антоциановых пигментов из выжимок ягод черники (Школьникова & Аверьянова, 2021). Исследован профиль антоциановых соединений экстрактов выжимок ягод черники в сравнении с экстрактами свежих ягод. Показано, что именно выжимки являются предпочтительным сырьевым ресурсом для получения природных красителей. Разработана технология и принципиальная технологическая схема получения качественного красителя с высоким содержанием красящих пигментов из выжимок ягод черники, предварительно замороженных при температуре минус 18 °С, предполагающая спиртовую экстракцию и концентрирование до содержания сухих веществ 50–60%. Включение стадии предварительного замораживания позволяет повысить степень экстракции антоциановых красителей.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разнообразие продуктов переработки черники, широко используемых в пищевой промышленности, отличающихся функциональными и технологическими свойствами, обуславливает необходимость полного и детального изучения особенностей тех-

нологических режимов и способов обработки свежих плодов черники. На основании проведенного анализа и обобщения информации, представленной в проведенных исследованиях, можно представить следующую классификацию способов переработки ягод черники: технологии, основанные на физических и химических процессах: прессование (Сайфулина, 2003; Васюкова & Народов, 2008; Oliveira et al., 2019; Конюхова & Меркушева, 2021); высушивание: конвективная (в том числе распылительная), инфракрасная, микроволновая, акустическая, вакуумная, сублимационная и циклонная сушка (Дубкова & Тухбиева, 2010; Борисова и соавт., 2008; Karam et al., 2016; Семенов и соавт., 2016; Бутенко & Подгорная, 2016; Микаберидзе и соавт., 2017; Иванова, 2018; Нилова и соавт., 2019; Даудова и соавт., 2021); замораживание: статическое, шокковое и криогенное (Сайфулина, 2003; Сергунова, 2013; Гусейнова, 2017; Arevström et al., 2019; Конюхова & Меркушева, 2021); кавитация: ультразвуковая и гидродинамическая обработка (Федоткин и соавт., 1998; Poiana et al., 2012; Бессараб и соавт., 2013); обработка импульсным полем (Pataro et al., 2017); экстракция: экстракция растворителями, микроволновая гидродиффузия и гравитация, ультразвуковая экстракция, экстракция в электрическом импульсном поле, экстракция углекислым газом под давлением (Aaby et al., 2013; Babova et al., 2016; Ravi et al., 2018); технологии, основанные на биохимических процессах: ферментация (Кузьмина и соавт., 2017; Puri et al., 2012; Gil-Chávez et al., 2013; Sagar et al., 2018); комплексные технологии (Нуриахметова, 2019; Нилова и соавт., 2019; Школьникова & Аверьянова, 2021); технологии глубокой переработки (Aura et al., 2015; Karam et al., 2016; Oliveira et al., 2018; Höglund et al., 2018; Eliasson et al., 2019).

На сегодняшний день традиционные технологии, основанные на процессах прессования, сушки, замораживания и консервирования не способны отвечать современным вызовам и реалиям развития отечественной перерабатывающей индустрии. Выявлено, что наиболее перспективными способами, с точки зрения сохранности комплекса биологически активных веществ черники и интенсивности протекания технологических процессов, являются сублимационная сушка, «шоковое» замораживание. Данные способы позволяют получить продукты с минимальными потерями сырья и с максимальным сохранением витаминно-минеральных

и антоциановых комплексов черники. Особый интерес представляют комплексные технологии, базирующиеся сразу на нескольких физических и физико-химических процессах. Анализ данных также позволил определить проблемное поле: исследований, посвященных переработке черники с использованием методов и приемов биотехнологии в настоящее время проведено крайне мало. Эффективность биотрансформации на данный момент оценена на примере целого перечня ягод, за исключением черники. Таким образом, выжимки черники представляет собой важный и привлекательный источник фенольных соединений для использования в пищевых продуктах.

ВЫВОДЫ

Настоящий обзор послужил для анализа и систематизации современных технологических решений по переработке ягод черники в целевые продукты или полуфабрикаты с позиции разнообразия их технологических форм и наиболее полного использования природного состава ягод. Реализация поставленной цели позволила выявить достоинства предлагаемых решений, перспективы развития и совершенствования научных разработок в этом направлении. Сегодня технологии, основанные на механическом воздействии на ягодное сырье, высокотемпературном обезвоживании при атмосферном давлении существенно уступают технологиям, реализующимся при пониженном давлении, использовании ИК-излучения, акустических и микроволновых воздействиях. Последний, как показали исследования, позволяют не только интенсифицировать процесс переработки черники, но и, что наиболее важно, максимально сохранить витаминно-минеральный и антоциановый комплекс черники.

ЛИТЕРАТУРА

- Акулич, А. В., & Гостинщикова Л. А. (2013). Исследование кинетики процесса сушки ягодного сырья при различных способах энергоподвода. *Пищевая наука и технология*, (2), 112–115.
- Алексеев, Е. В. (2013). *Инновационные технологии переработки ягодного сырья: Научные и прикладные аспекты* [Докторская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.

Наиболее перспективным способом переработки черники, основанном на удалении влаги, можно считать сублимационную сушку. Помимо этого, большой потенциал имеют технологии, основанные на процессах замораживания, в частности технология «шоковой» заморозки. Однако технологии, в основе которых лежит один физический или физико-химический процесс, не дают таких высоких результатов как комбинированные способы и глубокая переработка черники. Именно указанные способы сегодня являются наиболее инновационными и эффективными. Технологии, подразумевающие использование высокоспецифичных ферментных препаратов, в особенности комплексного действия, сегодня изучены недостаточно, применительно к ягодам черники, однако они имеют большой потенциал при переработке черники в продукты, обладающие функциональными свойствами. Данный вопрос на сегодняшний день требует проведения дальнейших научных исследований.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Алексеев Елена Викторовна — формулирование исследовательских целей и задач, разработка или проектирование методологии исследования, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, ответственность за управление и координацию.

Каримова Наталья Юрьевна — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

Цветкова Алёна Андреевна — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

- Алексеев, Е. В., Бакуменко, О. Е., Азарова, М. М., Исабаев, И. Б., & Курбанов, М. Т. (2019). Влияние предварительной обработки ягод клюквы на экстракцию антоциановых пигментов, выход сока и его антиоксидантную активность. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 10–27. <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2019.200>
- Белова, Е. А., Тритэк, В. С., & Шульгау, З. Т. (2020). Изучение фенольных соединений ягод трех видов растений рода

- Vaccinium, произрастающих в Ханты-Мансийском автономном округе. *Химия растительного сырья*, (1), 107–116. <https://dx.doi.org/10.14258/jcprm.2020014534>
- Бессараб, А. С., Дашковский Ю. А., & Пахомова Е. Ю. (2013). Инновационные материалосберегающие, малоэнергоёмкие процессы производства гомогенизированных продуктов и полуфабрикатов. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, (3), 69–77.
- Борисова, Т. В., Зологина, В. Г., & Левин, Б. Д. (2008). *Основные свойства пищевого сырья, полуфабрикатов продуктов*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет.
- Бутенко, Л. И., & Подгорная, Ж. В. (2016). Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криообработку. *Успехи современного естествознания*, 11(1), 14–17.
- Быстрова, Е. А., & Алексеенко, Е. В. (2017). Исследование компонентного состава фенольных соединений и антиоксидантной активности брусничного сока. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 7(3), 19–26. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-19-26>
- Васяров, Г. Г., Дробь, А. А., Титова, Е. В., & Староверов, С. М. (2019). Кластерный анализ антоцианов черники методом ВЭЖХ. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 16(4), Статья 1374.
- Васюкова, А. Т., & Народов, А. (2008). Современные направления использования дикорастущих растений для пищевых целей. *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*, (2), 136–138.
- Воробьева, И. В. (2015). Современные данные о роли антоцианозидов и флавоноидов в лечении заболеваний глаз. *Вестник офтальмологии*, (5), 104–108. <https://doi.org/10.17116/oftalma20151315104-108>
- Гольдина, И. А., Сафронова, И. В., & Гайдунь, К. В. (2015). Полифенольные соединения черники: особенности биологической активности и терапевтических свойств. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (10), 221–228.
- Громова, И. А., Воронина, М. С., & Макарова, Н. В. (2021). Исследование химических характеристик продуктов и отходов переработки ягод черники и чёрной смородины. *Химия растительного сырья*, (1), 251–257. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017020>
- Гусейнова, Б. М. (2017). Влияние быстрого замораживания и последующего холодного хранения на пищевую ценность плодов дикоросов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (3), 127–137.
- Даудова, Т. Н., Исригова, Т. А., Даудова, Т. А., & Омарова, М. М. (2021). Интенсификация экстракции антоциановых красителей ультразвуковой обработкой дикорастущих плодов. *Проблемы развития АПК региона*, (1), 160–163.
- Дубкова, Н. З., & Тухбиева, Э. Х. (2010). Технология получения порошка из ягод черники. *Техника и технология пищевых производств*, (2), 65–69.
- Иванова, О. В. (2018). Черника и ее антоцианы. В *Научные исследования и разработки 2018: XXXIV Международная научно-практическая конференция* (с. 15–16). Астрахань: Олимп.
- Иващенко, М. В. (2015). Факторы, влияющие на ферментолитический распад пектинсодержащего растительного сырья. В *Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: Материалы конференции* (с. 305–308). СПб: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.
- Каржавина, Е. Р., Беспамятных, С. А., & Каржавин, И. А. (2015). Современные способы получения сока из дикорастущего ягодного сырья Уральского региона. В *Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли: Сборник статей III Международной научно-практической конференции* (с. 65–70). Екатеринбург: Уральский государственный университет.
- Конюхова, О. М., & Меркушева, Н. Н. (2021). Изучение состава биологически активных веществ в дикорастущих ягодах рода *Vaccinium* в зависимости от условий хранения. *Вестник Поволжского государственного технологического университета*, (3), 100–108. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2021.3.100>
- Коренева, И. В. (2013). Исследование химического состава и безопасности продуктов переработки черники и использование ее в кондитерской промышленности. В *Молодежь и наука: Сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска* (Статья 014). Красноярск: Сибирский федеральный университет.
- Кузьмина, Н. А., Болотова, К. С., Новожилов, Е. В., Фалев, Д. И., Емельянова, М. В., & Канарская, З. А. (2017). Влияние ферментации и лиофильного высушивания на сохранность витаминов и каротина в ягодных соках. *Вестник Технологического университета*, 20(6), 154–156.
- Куркин, В. А., Рязанова, Т. К., & Петрухина, И. К. (2011). *Черника обыкновенная: современные подходы к стандартизации сырья и созданию лекарственных препаратов*. Самара: Офорт.
- Лозовская, Т. С., & Осипова, Л. А. (2011). Биологически активные вещества плодово-ягодного сырья, перспективного для производства напитков и вин. *Виноградарство и виноделие*, 41(2), 112–114.
- Магомедов, Г. О., Саввин, П. Н., Плотникова, И. В., & Бакулина, О. В. (2016). Применение натурального черничного красителя в производстве сливочного крема. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (1), 116–121. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-116-121>
- Макарова, Н. В., & Еремеева, Н. Б. (2020). Сравнительное изучение ультразвуковых воздействий на экстракцию антиоксидантных соединений ягод черники (*Vaccinium Myrtillus L.*). *Химия растительного сырья*, (1), 167–177. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014425>
- Макарова, Н. В., Стрюкова, А. Д., & Чигирёва, А. В. (2012). Влияние замораживания на антиоксидантную активность ягод. *Пищевая промышленность*, (6), 44–46.

- Микаберидзе, М. Ш., Чакветадзе, Ш. М., & Пруидзе, М. Р. (2017). Интенсификация процессов сушки ягод в поле ИК лучей. *Аэкономика: Экономика и сельское хозяйство*, (8), 5–14.
- Нилова, Л. П., Икрамов, Р. А., & Малютенкова, С. М. (2019). Влияние СВЧ-нагрева на оптические характеристики ягодных экстрактов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(1), 218–224. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-218-224>
- Нуриахметова, И. А. (2019). Инновационная технология получения порошка черники, богатого антоцианами. *Пищевые технологии и биотехнологии*, (1), 181–185.
- Петров, А. Н., Шишкина, Н. С., & Карастоянова, О. В. (2014). Применение высокоэффективных технологий быстрого замораживания растительной продукции для реализации и создания резерва продовольствия. *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*, 2(2), 186–193.
- Рензеева, Т. В., Тубольцева, А. С., Понкротова, Е. К., Луговая, А. В., & Казанцева, А. В. (2014). Функционально-технологические свойства порошкообразного сырья и пищевых добавок в производстве кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, (4), 43–49.
- Сайфулина, З. Р. (2003). *Товароведно-технологическая характеристика дикорастущих черники и калины и продуктов их комплексной переработки* [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]. Новосибирск, Россия.
- Семенов, Г. В., Краснова, И. С., & Петков, И. И. (2017). Выбор режимных параметров вакуумной сублимационной сушки сухих термолabileльных материалов с заданным уровнем качества. *Вестник Международной академии холода*, (1), 18–24. <https://dx.doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-18-24>.
- Сергунова, Е. В. (2013). Способ консервации и содержание биологически активных веществ в плодах и отварах черники. *Фармация*, (6), 21–23.
- Типсина, Н. Н., & Яковчик, Н. Ю. (2013). Исследование черники. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (11), 283–285.
- Типсина, Н. Н., Мучкина, Е. Я., Струпан, Е. А., & Коршунова, Т. В. (2010). Исследование пищевой ценности порошка черники обыкновенной. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (5), 158–162.
- Фрум, А., Жеоржеску, Ч., Быркэ, А. Г., Глигор, Ф. Г., & Тицэ, О. (2016). Исследование качественного и количественного состава фенольных соединений черники (*Vaccinium Myrtillus L.*) как сыр для пищевой и фармацевтической промышленности. *Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса*, (2), 53–59. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-4-53-59>
- Хасанов, А. Р., & Баракова, Н. В. (2021). Исследование влияния дозы внесения ферментных препаратов на выход полифенольных веществ и антоцианов в плодово-ягодных и овощных соках. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(2), 61–64. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-61-66>
- Худоногова, Е. Г., Худоногов, И. А. & Худоногов, А. М. (2012). Влияние инфракрасно-конвективно-вакуумного способа сушки на содержание биологически активных веществ в лекарственном растительном сырье. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (5), 343–346.
- Четвериков, Е. А., Моисеев, А. П., & Лягина, Л. А. (2016). Совершенствование способов возбуждения электромагнитного поля СВЧ-диапазона в установках сушки сельскохозяйственной продукции стационарного типа. *Аграрный научный журнал*, (6), 70–72.
- Школьникова, М. Н., & Аверьянова, Е. В. (2021). Выжимки ягодного сырья как источник антоциановых красителей. *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, 10(1), 117–121.
- Aaby, K., Grimmer, S., & Holtung, L. (2013). Extraction of phenolic compounds from bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*) press residue: Effects on phenolic composition and cell proliferation. *Food Science and Technology*, 54(1), 257–264. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.031>
- Aliman, J., Michalak, I., Busatlic, E., Aliman, L., Kulina, M., Radovic, M., & Hasanbegovic, J. (2020). Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(2), 156–168. <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1902-36>
- Ancillotti, C., Ciofi, L., Pucci, D., Sagona, E., Giordani, E., Bircicoli, S., Gori, M., Petrucci, W. A., Giardi, F., Bartoletti, R., Chiuminatto, U., Orlandini, S., Mosti, S., & del Bubba, M. (2016). Polyphenolic profiles and antioxidant and anti-radical activity of Italian berries from *Vaccinium myrtillus L.* and *Vaccinium uliginosum L.* subsp. *gaultherioides* (Bigelow). S.B. Young. *Food Chemistry*, 204, 176–184. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.106>
- Arevström L., Bergh, C., Landberg, R., H., Wu, H., Rodriguez-Mateos, A., Waldenborg, M., Magnuson, A., Blanc, S., & Frobert, O. (2019). Freeze-dried bilberry (*Vaccinium myrtillus*) dietary supplement improves walking distance and lipids after myocardial infarction: an open label randomized clinical trial. *Nutrition Research*, 62, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.008>
- Aura, A. M., Holopainen-Mantila, U., Sibakov, J., Kössö, T., Morkkila, M., & Kaisa, P. (2015). Bilberry and bilberry press cake as sources of dietary fibre. *Food & Nutrition Research*, 59(11), Article 28367. <https://doi.org/10.3402/fnr.v59.28367>
- Babova, O., Capuzzo, A., & Maffei, A. M. (2016). Extraction of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) antioxidants using supercritical/subcritical CO₂ and ethanol as co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, 107, 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.029>
- Bilbao-Sainz, C., Thai, S., Sinrod, A. J. G., Chiou, B. S., & McHugh, T. (2019). Functionality of freeze-dried berry powder on frozen dairy desserts. *Journal of Food Process-*

- ing and Preservation*, 43(9), Article e14076. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14076>
- Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen K. R., Jaakola, L., Gruz, J., Strnad, M., Torun, H., & Ayaz, F. A. (2017). Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.004>
- Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Hermosín-Gutiérrez I., & Hayirlioglu-Ayaz S., & Ayaz, F. A. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food Chemistry*, 201, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Costa, J. R., Tonon, R. V., Cabral, L., Gottschalk, L., Pastrana, L., & Pintado, M. E. (2020). Valorization of agricultural lignocellulosic plant byproducts through enzymatic and enzyme-assisted extraction of high-value-added compounds: A Review. *ACS Sustain. Chemical Engineering Journal*, 8, 13112–13125. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02087>
- Diez-Sanchez, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2021). Use of Berry Pomace to Design Functional Foods. *Food Reviews International*, 2021, 201–217. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2010217>
- Eliasson, L., Oliveira, G., Ehrnell, M., Höglund, E., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through preprocessing and drying. *Food Science & Nutrition*, 7(4), 1379–1386. <https://doi.org/10.1002/fsn3.972>
- Grimm, A., Nyström, J., Mossing, T., Östman, U., & Geladi, P. (2020). Novel drying treatment to stabilize bilberry, blackcurrant, and cloudberry press cakes: Dryer performance and product quality characteristics. *Food Science and Technology*, 128, 109478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109478>
- Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almlí, V. L., Sozer, N., & Alminger, M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT – Food Science and Technology*, 92, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
- Gil-Chávez, G. J., Villa, J. A., Ayala-Zavala, F. J., Heredia, B., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2013). Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 5–25. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12005>
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders. A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49.
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Leyva-López, N., Hernández, C., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Salazar-Leyva, J. A., Osuna-Ruiz, I., Martínez-Montaño, E., Arrizon, J., Guerrero, A., & Benitez-Hernández A., & Avalos-Soriano, A. (2020). Antioxidant molecules from plant waste: Extraction techniques and biological properties. *Processes*, 8(12), Article 1566. <https://doi.org/10.3390/pr8121566>
- Müller, D., Schantz, M., & Richling, E. (2012). High performance liquid chromatography analysis of anthocyanins in bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.), blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.), and corresponding juices. *Journal of Food Science*, 77(4), C340–C345. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02605.x>
- Munzenmayer, P., Ulloa, J., Pinto, M., Ramirez, C., Valencia, P., Simpson, R., & Almonacid, S. (2020). Freeze-drying of blueberries: Effects of carbon dioxide (co₂) laser perforation as skin pretreatment to improve mass transfer, primary drying time, and quality. *Foods*, 9(2), Article 211. <https://doi.org/10.3390/foods9020211>
- Olas, B. (2017). The multifunctionality of berries toward blood platelets and the role of berry phenolics in cardiovascular disorders. *Platelets*, 28(6), 540–549. <https://doi.org/10.1080/09537104.2016.1235689>
- Oliveira, G., Eliasson, L., Ehrnell, M., Höglund, E., Andlid, T., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through processing: Effects of drying and fractionation on the stability of total polyphenols and anthocyanins. *Food Science Nutrition*, 7(3), 1017–1026. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn3.930>
- Pataro, G., Bobinaitė, R., & Bobinas, Č., Satkauskas, S., Raudonis, R., Visockis, M., Ferarri, G., & Viskelis, P. (2017). Improving the extraction of juice and anthocyanins from blueberry fruits and their by-products by application of pulsed electric fields. *Food Bioprocess Technology*, 10, 1595–1605. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1928-x>
- 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>
- Poiana, M.-A., & Alexa, E. & Mateescu, C. (2012). Tracking antioxidant properties and color changes in low-sugar bilberry jam as effect of processing, storage and pectin concentration. *Chemistry Central Journal*, 6, Article 4. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-4>
- Prencipe, F. P., Bruni, R., Guerrini, A., Rossi, D., Benvenuti, S., & Pellati, F. (2014). Metabolite profiling of polyphenols in *Vaccinium* berries and determination of their chemopreventive properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 89, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.11.016>
- Primetta, A. K., Jaakola, L., Ayaz, F. A., Inceer, H., & Riihinen, K. R. (2013). Anthocyanin fingerprinting for authenticity studies of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Control*, 30(2), 662–667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.009>
- Puri M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in Biotechnology*, 30(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
- Ravi, H. K., Breil, C., Vian, M. A., Chemat, F., & Venskutonin, P. R. (2018). Biorefining of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) pomace using microwave hydrodiffusion and gravity, ultrasound-assisted, and bead-milling extraction. *ACS*

- Sustain. *Chemical Engineering Journal*, 6(3), 4185–4193. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04592>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
- Stanoeva, J. P., Stefova, M., Andonovska, K. B., Vankova, A., & Stafilov, T. (2017). Phenolics and mineral content in bilberry and bog bilberry from Macedonia. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S863–S883. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1315592>
- Vaneková, Z., & Rollinger, J. M. (2022). Bilberries: curative and miraculous — A review on bioactive constituents and clinical research. *Frontiers in Pharmacology*, 13, Article 909914. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.909914>
- Zorenc, Z., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2018). Are processed bilberry products a good source of phenolics? *Journal of Food Science*, 83(7), 1856–1861. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14209>

REFERENCES

- Akulich, A. V., & Gostinshchikova L. A. (2013). Issledovanie kinetiki protsessa sushki yagodnogo syr'ya pri razlichnykh sposobakh energopodvoda [Investigation of the kinetics of the drying process of berry raw materials with various methods of energy supply]. *Pishcheyaya nauka i tekhnologiya [Food Science and Technology]*, (2), 112–115.
- Alekseenko, E. V. (2013). *Innovatsionnye tekhnologii pererabotki yagodnogo syr'ya: nauchnye i prikladnye aspekty* [Doctoral Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Alekseenko, E. V., Bakumenko, O. E., Azarova, M. M., Isabaev, I. B., & Kurbanov, M. T. (2019). Vliyanie predvaritel'noi obrabotki yagod klyukvy na ekstraktsiyu antotsianovykh pigmentov, vykhod soka i ego antioksidantnyuyu aktivnost' [The effect of pretreatment of cranberry berries on the extraction of anthocyanin pigments, juice yield and its antioxidant activity]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (4), 10–27. <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2019.200>
- Belova, E. A., Tritek, V S., & Shul'gau, Z. T. (2020). Izuchenie fenol'nykh soedinenii yagod trekh vidov rastenii roda Vaccinium, proizrastayushchikh v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge [The study of phenolic compounds of berries of three species of plants of the genus Vaccinium growing in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, (1), 107–116. <https://dx.doi.org/10.14258/jcprm.2020014534>
- Bessarab, A. S., Dashkovskii Yu. A., & Pakhomova E. Yu. (2013). Innovatsionnye materialosberegayushchie, maloenergoemkie protsessy proizvodstva gomogenizirovannykh produktov i polufabrikatov [Innovative material-saving, low-energy-intensive processes for the production of homogenized products and semi-finished products]. *Pishcheyaya promyshlennost': nauka i tekhnologii [Food Industry: Science and Technology]*, (3), 69–77.
- Borisova, T. V., Zologina, V. G., & Levin, B. D. (2008). *Osnovnye svoystva pishchevogo syr'ya, polufabrikatov produktov [Basic properties of food raw materials, semi-finished products]*. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Butenko, L. I., & Podgornaya, Zh. V. (2016). Issledovaniya antotsianovogo kompleksa yagod, prshedshikh kriobrabotku [Studies of the anthocyanin complex of berries that have undergone cryoprocessing]. *Uspekhi sovremenno estestvoznaniya [Successes of Modern Natural Science]*, 11(1), 14–17.
- Bystrova, E. A., & Alekseenko, E. V. (2017). Issledovanie komponentnogo sostava fenol'nykh soedinenii i antioksidantnoi aktivnosti brusnichnogo soka [Investigation of the component composition of phenolic compounds and antioxidant activity of cranberry juice]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya [News of universities. Applied Chemistry and Biotechnology]*, 7(3), 19–26. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-19-26>
- Chetverikov, E. A., Moiseev, A. P., & Lyagina, L. A. (2016). Sovershenstvovanie sposobov vzbuzhdeniya elektromagnitnogo polya SVCh-diapazona v ustanovkakh sushki sel'skokhozyaistvennoi produktsii stacionarnogo tipa [Improvement of methods of excitation of the electromagnetic field of the microwave range in stationary agricultural drying plants]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal [Agricultural Scientific Journal]*, (6), 70–72.
- Daudova, T. N., Isrigova, T. A., Daudova, T. A., & Omarova, M. M. (2021). Intensifikatsiya ekstraktsii antotsianovykh krasitelei ul'trazvukovoi obrabotkoi dikorastushchikh plodov [Intensification of anthocyanin dye extraction by ultrasonic treatment of wild fruits]. *Problemy razvitiya APK regiona [Problems of Agro-Industrial Complex Development in the Region]*, (1), 160–163.
- Dubkova, N. Z., & Tukhbieva, E. Kh. (2010). Tekhnologiya polucheniya poroshka iz yagod cherniki [Technology of obtaining powder from blueberries]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, (2), 65–69.
- Frum, A., Zheorzhesku, Ch., Byrke, A. G., Gligor, F. G., & Titse, O. (2016). Issledovanie kachestvennogo i kolichestvennogo sostava fenol'nykh soedinenii cherniki (Vaccinium Myrtillus L.) kak syr'ya dlya pishchevoi i farmatsevticheskoi promyshlennosti. Nauchnyi rezul'tat [Investigation of the qualitative and quantitative composition of phenolic compounds of blueberries (Vaccinium Myrtillus L.) as cheese for the food and pharmaceutical industry. Scientific result]. *Tekhnologii biznesa i servisa [Business and Service Technologies]*, (2), 53–59. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-4-53-59>
- Gol'dina, I. A., Safronova, I. V., & Gaidul', K. V. (2015). Polifenol'nye soedineniya cherniki: osobennosti biologich-

- eskoj aktivnosti i terapevticheskikh svoystv [Polyphenolic compounds of blueberries: features of biological activity and therapeutic properties]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], (10), 221–228.
- Gromova, I. A., Voronina, M. S., & Makarova, N. V. (2021). Issledovanie khimicheskikh kharakteristik produktov i otkhodov pererabotki yagod cherniki i chernoï smorodiny [Investigation of chemical characteristics of products and waste processing of blueberries and black currants]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (1), 251–257. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017020>
- Guseynova, B. M. (2017). Vliyanie bystrogo zamorazhivaniya i posleduyushchego kholodnogo khraneniya na pishchevuyu tsennost' plodov dikorosov [The effect of rapid freezing and subsequent cold storage on the nutritional value of wild fruits]. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy], (3), 127–137.
- Ivanova, O. V. (2018). Chernika i ee antotsiany [Blueberries and their anthocyanins]. In *Nauchnye issledovaniya i razrabotki 2018: XXXIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Research and development 2018: 34th International scientific and practical conference] (pp. 15–16). Astrakhan': Olimp.
- Ivashchenko, M. V. (2015). Faktory, vliyayushchie na fermentoliz pektinsoderzhashchego rastitel'nogo syr'ya [Factors affecting the fermentation of pectin-containing plant raw materials]. In *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke: Materialy konferentsii* [Low-temperature and food technologies in the 21st century: Conference materials] (pp. 305–308). S-Petersburg: Sankt-Peterburgskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki.
- Karzhavina, E. R., Bespamyatnykh, S. A., & Karzhavin, I. A. (2015). Sovremennye sposoby polucheniya soka iz dikorastushchego yagodnogo syr'ya Ural'skogo regiona [Modern methods of obtaining juice from wild berry raw materials of the Ural region]. In *Innovatsionnye tekhnologii v sfere pitaniya, servisa i trgovli: Sbornik statei III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovative technologies in the field of food, service and trade: Collection of articles of the 3rd international scientific and practical conference] (pp. 65–70). Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi universitet.
- Khasanov, A. R., & Barakova, N. V. (2021). Issledovanie vliyaniya dozy vneseniya fermentnykh preparatov na vykhod polifenol'nykh veshchestv i antotsianov v plodovo-yagodnykh i ovoshchnykh sokakh [Investigation of the effect of the dose of enzyme preparations on the yield of polyphenolic substances and anthocyanins in fruit and berry and vegetable juices]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 83(2), 61–64. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-61-66>
- Khudonogova, E. G., Khudonogov, I. A. & Khudonogov, A. M. (2012). Vliyanie infrakrasno-konvektivno-vakuumnogo sposoba sushki na sodержание biologicheskii aktivnykh veshchestv v lekarstvennom rastitel'nom syr'e [The effect of the infrared-convective-vacuum drying method on the content of biologically active substances in medicinal plant raw materials]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (5), 343–346.
- Konyukhova, O. M., & Merkusheva, N. N. (2021). Izuchenie sostava biologicheskii aktivnykh veshchestv v dikorastushchikh yagodakh roda Vaccinium v zavisimosti ot uslovii khraneniya [Study of the composition of biologically active substances in wild berries of the genus Vaccinium depending on storage conditions]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga State Technological University], (5), 100–108. <https://doi.org/0.25686/2306-2827.2021.3.100>
- Koreneva, I. V. (2013). Issledovanie khimicheskogo sostava i bezopasnosti produktov pererabotki cherniki i ispol'zovanie ee v konditerskoi promyshlennosti [Investigation of the chemical composition and safety of blueberry processing products and its use in the confectionery industry]. In *Molodezh' i nauka: Sbornik materialov IKh Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 385-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska* [Youth and science: A collection of materials of the IX All-Russian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 385th anniversary of the founding of Krasnoyarsk] (Article 014). Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet.
- Kurkin, V. A., Ryazanova, T. K., & Petrukhina, I. K. (2011). Chernika obyknovennaya: sovremennye podkhody k standartizatsii syr'ya i sozdaniyu lekarstvennykh preparatov [Blueberries: modern approaches to the standardization of raw materials and the creation of medicines]. Samara: Ofort.
- Kuz'mina, N. A., Bolotova, K. S., Novozhilov, E. V., Falev, D. I., Emel'yanova, M. V., & Kanarskaya, Z. A. (2017). Vliyanie fermentatsii i liofil'nogo vysushivaniya na sokhranost' vitaminov i karotina v yagodnykh sokakh [The effect of fermentation and freeze-drying on the preservation of vitamins and carotene in berry juices]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 20(6), 154–156.
- Lozovskaya, T. S., & Osipova, L. A. (2011). Biologicheskii aktivnye veshchestva plodovo-yagodnogo syr'ya, perspektivnogo dlya proizvodstva napitkov i vin [Biologically active substances of fruit and berry raw materials, promising for the production of beverages and wines]. *Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and Winemaking], 41(2), 112–114.
- Magomedov, G. O., Savvin, P. N., Plotnikova, I. V., & Bakulina, O. V. (2016). Primenenie natural'nogo chernichnogo krasitelya v proizvodstve slivochnogo krema [The use of natural blueberry dye in the production of butter cream]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], (1), 116–121. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-116-121>

- Makarova, N. V., & Ereemeeva, N. B. (2020). Sravnitel'noe izuchenie ul'trazvukovykh vozdeistvii na ekstraksiyu antioksidantnykh soedinenii yagod cherniki (*Vaccinium Myrtillus* L.) [Comparative study of ultrasonic effects on the extraction of antioxidant compounds of blueberries (*Vaccinium Myrtillus* L.)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (1), 167–177. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014425>
- Makarova, N. V., Stryukova, A. D., & Chigireva, A. V. (2012). Vliyanie zamorazhivaniya na antioksidantnyuyu aktivnost' yagod [The effect of freezing on the antioxidant activity of berries]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (6), 44–46.
- Mikaberidze, M. Sh., Chakvetadze, Sh. M., & Pruidze, M. R. (2017). Intensifikatsiya protsessov sushki yagod v pole IK luchei [Intensification of berry drying processes in the field of infrared rays]. *Aekonomika: Ekonomika i sel'skoe khozyaistvo* [Aeconomics: Economics and Agriculture], (8), 5–14.
- Nilova, L. P., Ikramov, R. A., & Malyutenkova, S. M. (2019). Vliyanie SVCh-nagreva na opticheskie kharakteristiki yagodnykh ekstraktov [The effect of microwave heating on the optical characteristics of berry extracts]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 81(1), 218–224. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-218-224>
- Nuriakhmetova, I. A. (2019). Innovatsionnaya tekhnologiya polucheniya poroshka cherniki, bogatogo antotsianami [Innovative technology for obtaining blueberry powder rich in anthocyanins]. *Pishchevye tekhnologii i biotekhnologii* [Food Technologies and Biotechnologies], (1), 181–185.
- Petrov, A. N., Shishkina, N. S., & Karastoyanova, O. V. (2014). Primenenie vysokoeffektivnykh tekhnologii bystrogo zamorazhivaniya rastitel'noi produktsii dlya realizatsii i sozdaniya rezerva prodovol'stviya [The use of highly efficient technologies for fast freezing of plant products for the sale and creation of food reserves]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostei dlya gosudarstvennykh nuzhd* [Innovative Technologies of Production and Storage of Material Values for State Needs], 2(2), 186–193.
- Renzyaeva, T. V., Tubol'tseva, A. S., Ponkratova, E. K., Lugovaya, A. V., & Kazantseva, A. V. (2014). Funktsional'no-tekhnologicheskie svoistva poroshkoobraznogo syr'ya i pishchevykh dobavok v proizvodstve konditerskikh izdelii [Functional and technological properties of powdered raw materials and food additives in the production of confectionery]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production], (4), 43–49.
- Saifulina, Z. R. (2003). *Tovarovedno-tekhnologicheskaya kharakteristika dikorastushchikh cherniki i kaliny i produktov ikh kompleksnoi pererabotki* [Commodity and technological characteristics of wild blueberries and viburnum and products of their complex processing] [Candidate Dissertation, Sibirskii universitet potrebitel'skoi kooperatsii]. Novosibirsk, Russia.
- Semenov, G. V., Krasnova, I. S., & Petkov, I. I. (2017). Vyborezhimnykh parametrov vakuumnoi sublimatsionnoi sushki sukhikh termolabil'nykh materialov s zadannym urovнем kachestva [Selection of operating parameters of vacuum freeze drying of dry thermolabile materials with a given level of quality]. *Bulletin of the International Academy of Cold*. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Bulletin of the International Academy of Cold], (1), 18–24. <https://dx.doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-18-24>.
- Sergunova, E. V. (2013). Sposob konservatsii i sodержanie biologicheski aktivnykh veshchestv v plodakh i otvarakh cherniki [The method of preservation and the content of biologically active substances in fruits and decoctions of blueberries]. *Farmatsiya* [Pharmacy], (6), 21–23.
- Shkol'nikova, M. N., & Aver'yanova, E. V. (2021). Vyzhimki yagodnogo syr'ya kak istochnik antotsianovykh krasitelei [Extracts of berry raw materials as a source of anthocyanin dyes]. *XXI vek: Itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [21st Century: The Results of the Past and the Problems of the Present Plus], 10(1), 117–121.
- Tipsina, N. N., & Yakovchik, N. Yu. (2013). Issledovanie cherniki [Blueberry research]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (11), 283–285.
- Tipsina, N. N., Muchkina, E. Ya, Strupan, E. A., & Korshunova, T. V. (2010). Issledovanie pishchevoi tsennosti poroshka cherniki obyknovnoy [Investigation of the nutritional value of blueberry powder]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (5), 158–162.
- Vasiyarov, G. G., Drob', A. A., Titova, E. V., & Staroverov, S. M. (2019). Klasternyi analiz antotsianov cherniki metodom VEZhKh [Cluster analysis of blueberry anthocyanins by HPLC]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and Chromatographic Processes], 16(4), Article 1374.
- Vasyukova, A. T., & Narodov, A. (2008). Sovremennye napravleniya ispol'zovaniya dikorastushchikh rastenii dlya pishchevykh tselei [Modern directions of using wild plants for food purposes]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki* [Fundamental and Applied Research of the Cooperative Sector of the Economy], (2), 136–138.
- Vorob'eva, I. V. (2015). Sovremennye dannye o roli antotsianozidov i flavonoidov v lechenii zabolevaniy glaz [Current data on the role of anthocyanosides and flavonoids in the treatment of eye diseases]. *Vestnik oftalmologii* [Bulletin of Ophthalmology], (5), 104–108. <https://doi.org/10.17116/oftalma20151315104-108>
- Aaby, K., Grimmer, S., & Holtung, L. (2013). Extraction of phenolic compounds from bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) press residue: Effects on phenolic composition and cell proliferation. *Food Science and Technology*, 54(1), 257–264. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.031>
- Aliman, J., Michalak, I., Busatlic, E., Aliman, L., Kulina, M., Radovic, M., & Hasanbegovic, J. (2020). Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. *Turkish Journal of Agri-*

- culture and Forestry*, 44(2), 156–168. <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1902-36>
- Ancillotti, C., Ciofi, L., Pucci, D., Sagona, E., Giordani, E., Bircolli, S., Gori, M., Petrucci, W. A., Giardi, F., Bartoletti, R., Chiuminatto, U., Orlandini, S., Mosti, S., & del Bubba, M. (2016). Polyphenolic profiles and antioxidant and anti-radical activity of Italian berries from *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium uliginosum* L. subsp. *gaultherioides* (Bigelow). S.B. Young. *Food Chemistry*, 204, 176–184. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.106>
- Arevström L., Bergh, C., Landberg, R., H., Wu, H., Rodriguez-Mateos, A., Waldenborg, M., Magnuson, A., Blanc, S., & Frobert, O. (2019). Freeze-dried bilberry (*Vaccinium myrtillus*) dietary supplement improves walking distance and lipids after myocardial infarction: an open label randomized clinical trial. *Nutrition Research*, 62, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.008>
- Aura, A. M., Holopainen-Mantila, U., Sibakov, J., Kössö, T., Morkkila, M., & Kaisa, P. (2015). Bilberry and bilberry press cake as sources of dietary fibre. *Food & Nutrition Research*, 59(11), Article 28367. <https://doi.org/10.3402/fnr.v59.28367>
- Babova, O., Capuzzo, A., & Maffei, A. M. (2016). Extraction of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) antioxidants using supercritical/subcritical CO₂ and ethanol as co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, 107, 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.029>
- Bilbao-Sainz, C., Thai, S., Sinrod, A. J. G., Chiou, B. S., & McHugh, T. (2019). Functionality of freeze-dried berry powder on frozen dairy desserts. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), Article e14076. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14076>
- Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen K. R., Jaakola, L., Gruz, J., Strnad, M., Torun, H., & Ayaz, F. A. (2017). Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.004>
- Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Hermosín-Gutiérrez I., & Hayirlioglu-Ayaz S., & Ayaz, F. A. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food Chemistry*, 201, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Costa, J. R., Tonon, R. V., Cabral, L., Gottschalk, L., Pastrana, L., & Pintado, M. E. (2020). Valorization of agricultural lignocellulosic plant byproducts through enzymatic and enzyme-assisted extraction of high-value-added compounds: A Review. *ACS Sustain. Chemical Engineering Journal*, 8, 13112–13125. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02087>
- Diez-Sanchez, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2021). Use of Berry Pomace to Design Functional Foods. *Food Reviews International*, 2021, 201–217. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2010217>
- Eliasson, L., Oliveira, G., Ehrnell, M., Höglund, E., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through preprocessing and drying. *Food Science & Nutrition*, 7(4), 1379–1386. <https://doi.org/10.1002/fsn3.972>
- Grimm, A., Nyström, J., Møssing, T., Östman, U., & Geladi, P. (2020). Novel drying treatment to stabilize bilberry, blackcurrant, and cloudberry press cakes: Dryer performance and product quality characteristics. *Food Science and Technology*, 128, 109478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109478>
- Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almlí, V. L., Sozer, N., & Alminger, M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT — Food Science and Technology*, 92, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
- Gil-Chávez, G. J., Villa, J. A., Ayala-Zavala, F. J., Heredia, B., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2013). Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 5–23. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12005>
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders. A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49.
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Leyva-López, N., Hernández, C., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Salazar-Leyva, J. A., Osuna-Ruiz, I., Martínez-Montaña, E., Arrizon, J., Guerrero, A., & Benitez-Hernández A., & Avalos-Soriano, A. (2020). Antioxidant molecules from plant waste: Extraction techniques and biological properties. *Processes*, 8(12), Article 1566. <https://doi.org/10.3390/pr8121566>
- Müller, D., Schantz, M., & Richling, E. (2012). High performance liquid chromatography analysis of anthocyanins in bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.), blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.), and corresponding juices. *Journal of Food Science*, 77(4), C340–C345. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02605.x>
- Munzenmayer, P., Ulloa, J., Pinto, M., Ramirez, C., Valencia, P., Simpson, R., & Almonacid, S. (2020). Freeze-drying of blueberries: Effects of carbon dioxide (CO₂) laser perforation as skin pretreatment to improve mass transfer, primary drying time, and quality. *Foods*, 9(2), Article 211. <https://doi.org/10.3390/foods9020211>
- Olas, B. (2017). The multifunctionality of berries toward blood platelets and the role of berry phenolics in cardiovascular disorders. *Platelets*, 28(6), 540–549. <https://doi.org/10.1080/09537104.2016.1235689>
- Oliveira, G., Eliasson, L., Ehrnell, M., Höglund, E., Andlid, T., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through processing: Effects of drying and fractionation on the stability of total polyphenols and anthocyanins. *Food Science Nutrition*, 7(3), 1017–1026. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn3.930>
- Pataro, G., Bobinaitė, R., & Bobinas, Č., Satkauskas, S., Raudonis, R., Visockis, M., Ferri, G., & Viskelis, P. (2017). Improving the extraction of juice and anthocyanins from blueberry fruits and their by-products by application of pulsed electric fields. *Food Bioprocess Technology*, 10, 1595–1605. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1928-x>

- 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>
- Poiana, M.-A., & Alexa, E. & Mateescu, C. (2012). Tracking antioxidant properties and color changes in low-sugar bilberry jam as effect of processing, storage and pectin concentration. *Chemistry Central Journal*, 6, Article 4. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-4>
- Prencipe, F. P., Bruni, R., Guerrini, A., Rossi, D., Benvenuti, S., & Pellati, F. (2014). Metabolite profiling of polyphenols in Vaccinium berries and determination of their chemopreventive properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 89, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.11.016>
- Primetta, A. K., Jaakola, L., Ayaz, F. A., Inceer, H., & Riihinen, K. R. (2013). Anthocyanin fingerprinting for authenticity studies of bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*). *Food Control*, 30(2), 662–667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.009>
- Puri M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in Biotechnology*, 30(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
- Ravi, H. K., Breil, C., Vian, M. A., Chemat, F., & Venskutonis, P. R. (2018). Biorefining of bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*) pomace using microwave hydrodiffusion and gravity, ultrasound-assisted, and bead-milling extraction. *ACS Sustain. Chemical Engineering Journal*, 6(3), 4185–4193. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04592>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
- Stanoeva, J. P., Stefova, M., Andonovska, K. B., Vankova, A., & Stafilov, T. (2017). Phenolics and mineral content in bilberry and bog bilberry from Macedonia. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S863-S883. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1315592>
- Vaneková, Z., & Rollinger, J. M. (2022). Bilberries: curative and miraculous — A review on bioactive constituents and clinical research. *Frontiers in Pharmacology*, 13, Article 909914. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.909914>
- Zorenc, Z., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2018). Are processed bilberry products a good source of phenolics? *Journal of Food Science*, 83(7), 1856–1861. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14209>