

Оптимизация процессов получения экстрактов фитобиотических фармсубстанций ягодного сырья

М. Н. Школьникова¹, И. А. Бакин^{2,*}, А. С. Мустафина², Л. А. Алексенко³

¹ ФГБОУ ВО Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова»,
659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

³ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт»,
650056, Россия, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5

Дата поступления в редакцию: 09.11.2018

Дата принятия в печать: 28.12.2018

*e-mail: bakin@kemsu.ru



© М. Н. Школьникова, И. А. Бакин, А. С. Мустафина, Л. А. Алексенко, 2018

Аннотация. В статье описываются новые технологические приемы экстрагирования активных компонентов с антибактериальной активностью из ягодного сырья Сибирского региона, приводятся результаты исследования содержания биологически активных веществ и динамика изменения антибактериальной активности в экстрактах смородины черной (*Ribes nigrum* L.) и облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.). Был проведен анализ комплекса биологически активных веществ в экстрактах ягодного сырья, обуславливающих бактерицидное действие. Выявлено определяющее действие и синергизм основных компонентов – флавоноидов, дубильных веществ и витамина С, входящих в комплекс фитобиотических экстрактов. Установлена ведущая роль фенольных соединений (флавоноидов, дубильных веществ, фенолокислот, гликозидов), обеспечивающих антибактериальную активность в отношении штаммов некоторых видов патогенной, условно патогенной и нежелательной микрофлоры. Выявлены закономерности извлечения полезных веществ в процессе экстрагирования в условиях ультразвуковой обработки ягодного сырья. Основываясь на изменении показателя оптической плотности экстрактов в ходе экстрагирования, установлены оптимальные параметры процесса: величина гидромодуля – 1:15, частота ультразвукового воздействия – 22 кГц. Опытным путем определена массовая доля экстрактивных веществ и активных компонентов, найдены значения коэффициентов извлечения для исследуемого ягодного сырья. Установлено, что более полно экстрагируются дубильные вещества и витамин С, по сравнению с флавоноидами. Изучено влияние ультразвуковой обработки на ускорение процессов извлечения. При обработке водно-спиртовых растворов ягодного сырья ультразвуковым воздействием интенсивностью 2 Вт/см² и частоте 22 кГц продолжительность экстрагирования уменьшилась от 300 до 15–20 мин при достижении сопоставимых значений равновесных концентраций экстрактивных веществ, чем в контрольных образцах экстрактов без обработки.

Ключевые слова. Экстрагирование, экстракты, *Ribes nigrum* L., *Hippophae rhamnoides* L., фитобиотики, антибактериальные свойства

Для цитирования: Оптимизация процессов получения экстрактов фитобиотических фармсубстанций ягодного сырья / М. Н. Школьникова, И. А. Бакин, А. С. Мустафина, Л. А. Алексенко // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 4. – С. 121–130. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-121-130>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/>

Extracting Vitabiotic Pharmaceutical Substances from Berry Raw Materials: Optimization of Processes

M.N. Shkolnikova¹, I.A. Bakin^{2,*}, A.S. Mustafina², L.A. Aleksenko³

¹ Biysk technological institute is a subsidiary of
Polzunov Altai State Technical University,
27, Trofimova Str., Biysk, 659305, Russia

² Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

³ Kemerovo State Agricultural Institute,
5, Markoutseva Str., Kemerovo, 650056, Russia

Received: November 09, 2018

Accepted: December 28, 2018



Abstract. The research features new processing methods of extraction of active antibacterial components from Siberian berries. The paper describes the content of biologically active agents and antibacterial dynamics in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) and common sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) extracts. The study involved an analysis of the bactericidal biologically active agents in the extracts. The experiment revealed the main effect and synergism of the principal components, i.e. flavonoids, tannins, and vitamin C. It also established the leading role of the phenolic substances (flavonoids, tannins, phenolic acids, and glycosides) in the antibacterial influence on cultures of some kinds of pathogenic, potentially pathogenic, and unwanted microflora. The authors revealed some regularities of useful substances extraction in the conditions of ultrasonic processing. The optical density indicator of extracts during extraction helped to establish the optimum parameters of the process: mash ratio – 1:15; ultrasonic exposure frequency – 22 kHz. The experiment determined the mass fraction of extractive substances and active components, as well as the values of extraction coefficients of the berry raw material. Tannins and vitamin C were more extractable than flavonoids. The research also touched upon the impact of ultrasonic processing on the acceleration of extraction. When processing water-alcohol solutions of the raw material by ultrasonic irradiation with an intensity of 2 W/cm² and a frequency of 22 kHz, the extraction duration fell from 300 to 15–20 minutes before the comparable values of balance concentrations of extractives were reached, in comparison with the control samples.

Keywords. Extraction, extracts, *Ribes nigrum* L., *Hippophae rhamnoides* L., phytobiotic, antibacterial properties

For citation: Shkolnikova M.N., Bakin I.A., Mustafina A.S., and Aleksenko L.A. Extracting Vitabiotic Pharmaceutical Substances from Berry Raw Materials: Optimization of Processes. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 4, pp. 121–130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-121-130>.

Введение

Современные тенденции развития перерабатывающего комплекса, а также общемировая нормативно-правовая практика ориентирует производителей на переход к производству продуктов, не содержащих вредных веществ, в том числе антибиотиков, пестицидов и консервантов, или на так называемую органическую продукцию. В России наблюдается увеличение потенциального спроса на органические продукты и сырье, в том числе растительного происхождения, составляющего по экспертным оценкам до 10–15 % от мирового объема [1].

Применение современных биотехнологических методов и разработок позволяет не только повысить показатели качества и безопасности продукции и сырья, но и улучшить физиологический и иммунный статус населения, а также в равной степени сельскохозяйственных животных и птицы. Актуальной задачей органического хозяйства является поиск и внедрение новых биологических препаратов, среди которых наиболее перспективными являются фитобиотики – добавки растительного происхождения [1]. Основу фитобиотических препаратов составляют комплексы и субстанции, например, экстракты сухие и густые, ряд лекарственных растений, воздействие которых на пищеварение и общее состояние организма проявляется благодаря биологически активным веществам, таким как фитонциды, обуславливающие бактерицидное действие и повышающие сопротивляемость к инфекциям, а также гликозиды, эфирные масла и входящие в их состав терпеноиды, органические кислоты, дубильные и красящие вещества, витамины [2, 3].

Накопленный практический опыт использования лекарственно-технического сырья и продуктов его

переработки основан на исследовании фитонцидной активности компонентов и, прежде всего, на антимикробных и противовирусных веществах ряда растений, а также на совместном воздействии активных компонентов. Проектирование рецептур в пищевой промышленности и кормовых добавок в животноводстве ведется для повышения антиоксидантных и противовоспалительных эффектов, во многом обусловленных влиянием флавоноидных соединений растительного происхождения [2, 4, 5].

Современные исследования показывают перспективность разработок, направленных на расширение использования биологически активных соединений растительного происхождения в жизнедеятельности человека, в связи с достаточной изученностью действий отдельных активных компонентов сырья, доказанной их биологической активностью, а также доступностью для массового использования. Опыт фармацевтического производства показывает [6, 7], что болезнетворные микробы труднее адаптируются к действию фитонцидов высших растений, чем к антибиотикам из низших (микроскопические грибы). Это свидетельствует об актуальности использования лекарственно-технического сырья с высокой фитонцидной активностью как для повышения резистентности организма, так и для профилактики и лечения ряда заболеваний.

В исследованиях антиоксидантного эффекта флавоноидов выявлен механизм нейтрализации биологической активности свободных радикалов, определяющийся числом гидроксильных групп и их расположением в молекуле флавоноида. Значительное количество сравнительных исследований в различных странах предоставили неоспоримые доказательства благоприятного воздействия фенольных соединений растений.

Учитывая относительно низкую стоимость получения фитобиотических извлечений из растительного сырья, применение фарм субстанций является перспективным методом повышения эффективности жизнедеятельности [6].

Значительный объем фарм субстанций на основе натуральных экстрактов производится в странах Евросоюза («Sangrovit WS», Германия, «AdiCox AP», Польша и др.). В тоже время в современных экономических условиях, в связи со сложной внешнеэкономической обстановкой, российским производителям невыгодно использовать импортные ингредиенты и готовые фарм субстанции. По этой причине появляется потребность в органической продукции отечественного (местного) производства. Кроме того, технологии и технологические приемы, обеспечивающие комплекс полезных качеств фитодобавок, являются в большинстве случаев коммерческими, запатентованными и передаются российским производителям по лицензионным договорам при условии продажи оборудования и материалов, ставя их в технологическую зависимость от глобальных корпораций.

Ягодное сырье используется в технологии производства пищевых продуктов с антиоксидантными и антимикробными эффектами [8, 9]. Интерес к смородине черной (*Ribes nigrum* L.) и облепихе крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) не случаен. Он связан с широким спектром исследований их биологической активности целевых компонентов, что позволяет применять их в производстве фарм субстанций, чаще всего в виде жидких или густых экстрактов. Получение ценного комплекса биологически активных веществ основано на процессах экстрагирования ягодного сырья с использованием как традиционных, так и новых высокоэффективных методов [10].

Перспективным методом интенсификации процессов экстрагирования растительного сырья, обеспечивающего повышение извлечения целевых компонентов, является обработка сырья ультразвуковым (УЗ) воздействием [11]. Для большинства групп растительного сырья в результате эмпирических исследований изучены определяющие параметры процесса извлечения, такие как вид растворителя, значение гидромодуля, температурные режимы, размеры сырья, продолжительность и другие факторы. В тоже время на фармацевтических предприятиях и в агропромышленном комплексе экстрагирование активных компонентов сырья производится по традиционным и весьма продолжительным методам, например, мацерацией. Актуальной задачей переработки сырья является достижение наиболее полного извлечения целевых компонентов без ухудшения качества растворов. Использование УЗ обработки сырья при экстрагировании не только сокращает продолжительность процесса, но и позволяет уменьшить в растворе количество балластных веществ, таких как клетчатка и

пектиновые вещества. Однако при УЗ воздействии для различных систем существует пороговая интенсивность УЗ колебаний, при превышении которой проявляются эффекты деструкции растительных и биологических компонентов, что приводит к потере активных веществ. Продолжительность обработки ягодного сырья может быть определена только опытным путем. Это делает актуальным поиск рациональных технологических приемов и режимов обработки экстрагируемого сырья, нахождение их оптимальных параметров для обеспечения сохранности фитокомпонентов ягодного сырья Сибирского региона.

Актуальной задачей для агропромышленного комплекса является разработка технологии и изучение свойств фитобиотических фарм субстанций с антибактериальной активностью, основу которых составляют экстракты местного лекарственно-технического сырья, обладающего антибактериальной и антивирусной активностью по отношению к микроорганизмам различной таксономической принадлежности.

Целью исследования является обоснование новых технологических приемов получения фитобиотических фарм субстанций с высокой антибактериальной активностью к некоторым видам патогенной, условно-патогенной и нежелательной микрофлоры на основе экстрактов местного ягодного сырья и нахождение оптимальных параметров процессов экстрагирования в условия УЗ обработки. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проанализировать химический состав ягодного сырья Сибирского региона для определения перечня веществ с наиболее выраженной антибактериальной активностью;
- исследовать изменение содержания биоактивных компонентов, обуславливающих антибактериальную активность ягодного сырья, в процессах получения экстрактов;
- обосновать новые технологические приемы получения фитобиотических фарм субстанций, обеспечивающие сохранность природных биоактивных компонентов в процессах экстрагирования, при найденных оптимальных параметрах процессов.

Объекты и методы исследования

Подбор ягодного сырья с антибактериальной активностью базируется на его химическом составе. В связи с этим в ходе анализа действующих веществ, показаний к использованию растений для лечения и профилактики инфекционных состояний различной природы и локализации, а также доступности, возобновляемости и стоимости растительного сырья Сибирского региона, в частности обширной группы ягодного, в качестве объектов исследования отобрано растительное сырье, обладающее выраженными антибактериальными свойствами: смородина

черная (*Ribes nigrum* L.) и облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.).

Ягоды смородины черной (*Ribes nigrum* L.) содержат от 2,5 до 4,5 % органических кислот (лимонная, яблочная, винная, янтарная), аскорбиновую кислоту (от 80 до 400 мг %), сахара (от 8 до 17 %), пектины (0,5–0,9 %), клетчатку (2,4–3,5 %), каротиноиды. В состав фенольных соединений ягод входят катехины (78–550 мг %), флавонолы (рутин, кемпферол, кверцетин, кверцитрин, гиперозид и др.; суммарно в пересчёте на рутин 60–230 мг %), антоцианы (цианидин, дельфинидин и др.; 120–300 мг %) и лейкоантоцианы (лейкоцианидин, лейкодельфинидин и др.; 300–2400 мг %), фенол-кислоты (салициловая, хлорогеновая, протокатеховая, производные кумаровой кислоты), халконы. Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты и фенольных соединений накапливается в незрелых ягодах. Установлено, что из кожицы ягод можно извлечь примерно 0,01 % эфирного масла [10–15].

Обширными природными возобновляемыми ресурсами являются ягоды облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), имеющие уникальный химический состав. Основным биологически активным компонентом является масло, содержащееся в мякоти ее плодов, семенах, листьях и даже коре. Масло – естественный концентрат каротинов, токоферолов, филохинонов, фитостеролов, полиненасыщенных жирных кислот (ω -3, ω -6 и ω -7), фосфолипидов, витаминов и других биологически активных веществ. Масло – готовый лечебный препарат, обладающий разносторонними терапевтическими свойствами, в том числе доказанной антибактериальной активностью, и лишенный нежелательных побочных действий. Содержание масла в мякоти плодов облепихи, культивируемой на Алтае, колеблется от 4,4 до 7,2 мг/100 г свежих плодов в зависимости от сорта и года сбора урожая [16–18].

При проведении исследования использованы стандартные методы по ГОСТ 24027.2-80 «Сырьё лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла». Микробиологические показатели определялись по ГОСТ ISO 7218-2015 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям».

Идентификация и количественное определение флавоноидов и дубильных веществ в экстрактах проводились методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по Р 4.1.1672-03

«Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище».

Результаты исследований по измерениям в пятикратной повторности обрабатывались методами математической статистики с использованием прикладных компьютерных программ и являются достоверными.

Результаты и их обсуждение

С целью анализа действующих веществ, обуславливающих антибактериальные свойства, изучен и проанализирован химический состав исследуемого растительного сырья в соответствии требованиям нормативных документов по доброкачественности, безопасности и выявлению количественного содержания, которые обуславливают антибактериальную активность биологически активных веществ. Для определения стабильности химического состава изучаемого ягодного сырья и его пригодности для производства фитобиотических препаратов проводилось исследование сырья в системе мониторинга в период с 2013 по 2017 гг. В комплексе экстрактивных веществ опытным путем определялось содержание фенольных веществ (флавоноидов и дубильных), витамина С (табл. 1).

Данные таблицы 1 показывают, что анализируемое сырьё содержит значительное количество БАВ-фитонцидов, таких как флавоноиды, дубильные вещества, аскорбиновая кислота. Представленные данные определяют возможность использования исследуемого растительного сырья в качестве возможных компонентов добавок с антибактериальным эффектом. Кроме того, следует принимать во внимание, что синергизм содержащейся в исследуемых растениях аскорбиновой кислоты и флавоноидов определяется способностью последних снижать окислительно-восстановительный (Red-Ox) потенциал аскорбиновой кислоты, а также блокировать ионы токсичных металлов, катализирующих окисление аскорбиновой кислоты с образованием прочных хелатных комплексов. Ещё более мощный синергетический эффект достигается при комбинировании сырья, содержащего каротиноиды (в частности для облепихи крушиновидной), аскорбиновую кислоту и биофлавоноиды. Это обеспечивает присутствие как водорастворимых, так и жирорастворимых антиоксидантов, а, значит, биологический эффект (антимикробная активность) будет равносильно проявляться во внеклеточном пространстве (аскорбиновая

Таблица 1 – Содержание биологически активных компонентов в сухом веществе ягодного сырья (n = 5, M ± m)

Table 1 – The content of biologically active components in the dry matter of berry raw materials (n = 5, M ± m)

Вид сырья	Массовая доля, %			
	экстрактивных веществ	флавоноидов	дубильных веществ	аскорбиновой кислоты
<i>Ribes nigrum</i> L.	41,6 ± 3,5	9,25 ± 0,03	5,40 ± 0,13	4,28 ± 0,25
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	39,4 ± 3,3	5,14 ± 0,03	6,20 ± 0,40	3,20 ± 0,25

Таблица 2 – Антибактериальная активность ягодного сырья (n = 5, M ± m)
Table 2 – The antibacterial activity of berry raw material (n = 5, M ± m)

Штаммы микроорганизмов	Вид сырья	
	<i>Ribes nigrum</i> L.	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.
<i>Esche-richia coli</i>	+	+
<i>Staphy-lococcus aureus</i>	+	+
<i>Salmonella typhi</i>	+	–
<i>Shigella flexneri</i>	+	–
<i>Bacillus</i>	–	+
<i>Helico-bacter pylori</i>	–	+

кислота и биофлавоноиды) и в мембране клетки (жирорастворимые витамины) [9, 16, 19].

Исследование антибиотических свойств ягод позволяет говорить о ведущей роли фенольных соединений (флавоноидов, дубильных веществ, фенолокислот, гликозидов и др.) в обеспечении антибактериальной активности к некоторым видам патогенной, условно патогенной и нежелательной микрофлоры (табл. 2).

Как следует из приведенных данных (табл. 2), извлечения из ягод черной смородины показали антибактериальную активность в результате торможения зоны роста в чашках с посевным материалом в отношении микроорганизмов: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi* и *Shigella flexneri*; у облепихи крушиновидной обнаружена антимикробная активность в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* и *Helicobacter pylori*.

Технология получения фитобиотических фармсубстанций из растительного сырья предполагает получение растворов БАВ ягодного сырья. Для увеличения выхода БАВ при производстве экстрактов из сырья используются различные приемы интенсификации. Одним из действенных является ультразвуковое кавитационное воздействие, ускоряющее массообменные процессы и увеличивающее выход БАВ [11]. В ранее проведенных исследованиях установлено, что для процессов экстрагирования ягодного сырья использование водно-этанольных экстрагентов позволяет более полно извлекать такие БАВ, как флавоноидные соединения [11]. Параметры УЗ воздействия с частотой в 22 кГц выбраны из условия уменьшения гидродинамического сопротивления на границе фазового перехода в системе твердое тело – жидкость при интенсивности 2 Вт/см², ограничивающей влияние эффектов кавитационных процессов, при которых начинается проявление нежелательных явлений, например, переход в раствор балластных веществ [20].

Для получения качественной картины влияния УЗ обработки на кинетику экстрагирования проведены исследования по выявлению зависимости изменения оптической плотности растворов от продолжительности процесса. Использование фотоколориметрического метода анализа позволило

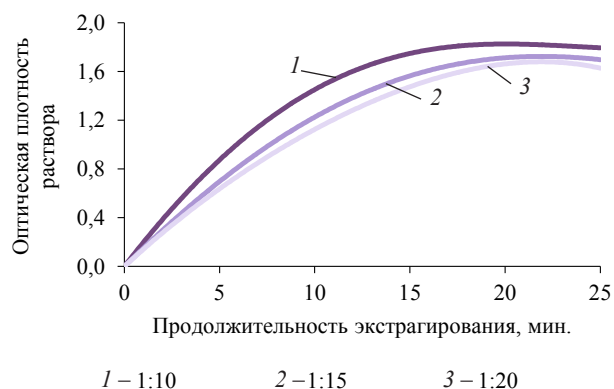


Рисунок 1 – Изменение оптической плотности экстрактов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) при УЗ обработке
Figure 1 – Changes in the optical density of black currant extracts (*Ribes nigrum* L.) during ultrasonic treatment

оперативно оценивать общее содержание БАВ и получить информативное описание суммарного перехода активных компонентов по степени изменения оптической плотности экстракта. По ранее отработанным параметрам в работе [20] ягодное сырье измельчалось (средний размер частиц 6 мм), мезга заливалась экстрагентом (водный раствор этанола 40 % об.). Далее, система подвергалась УЗ обработке при постоянной температуре 35 °С. Отбор проб раствора для контроля оптической плотности производился дискретно (интервал 5 минут) до наступления равновесного состояния, соответствующего максимальным фиксированным значениям показателя оптической плотности экстракта. Изучен процесс извлечения БАВ экстрактов ягодного сырья при варьировании значения гидромодуля (1:10, 1:15, 1:20). Экстракционные кривые представлены на рисунках 1 и 2.

Из анализа кривых (рис. 1, 2) следует, что величина гидромодуля в большей степени влияет на общий выход растворимых веществ в раствор. Для мезги ягод смородины черной (*Ribes nigrum* L.)

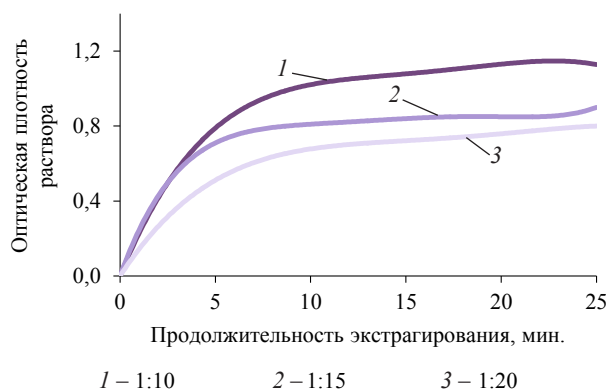


Рисунок 2 – Изменение оптической плотности экстрактов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) при УЗ обработке

Figure 2 – Changes in the optical density of sea buckthorn extracts (*Hippophae rhamnoides* L.) during ultrasonic treatment

оптическая плотность раствора в среднем больше на 11 % (при значении гидромодуля 1:10), чем при параметре, равном 1:15. Графики на рисунке 1 показывают, что равновесие в экстрагируемой системе наступает при продолжительности процесса 15 мин (гидромодуль 1:10) и 20 мин (гидромодуль 1:15 и 1:20). Для экстрактов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) данная тенденция сохраняется. При величине гидромодуля 1:10 оптическая плотность, в среднем, выше на 10–12 % при достижении максимального равновесия в системе.

Для подтверждения предположения об интенсификации процесса извлечения при УЗ воздействии проведены исследования по экстрагированию ягодного сырья по традиционному способу (мацерацией) при аналогичных параметрах процесса без обработки. Полученные обобщенные результаты показаны на рисунках 3, 4.

Результаты анализа кривых оптической плотности контрольных образцов экстрактов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) без обработки (рис. 3) показывают, что сопоставимые значения равновесных концентраций экстрактивных веществ в растворе (изменение интенсивности окраски) достигаются при продолжительности экстрагирования более 5 часов (300 мин). Для экстрактов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) кривые на рисунке 4 достигают экстремума при продолжительности от 1 до 2 часов. Сравнивая кривые на рисунках 1, 2, полученные при УЗ обработке, и кривые на рисунках 3, 4, полученные при экстрагировании методом мацерации, можно проследить значительное увеличение показателя оптической плотности. Полученные данные подтверждают возможность повышения скорости извлечения активных компонентов растительного сырья при УЗ обработке и хорошо согласуются с данными, полученными в работе [20].

Количественный анализ и оценка степени извлечения БАВ из сырья проводились с использованием экстракционно-спектрофотометрических

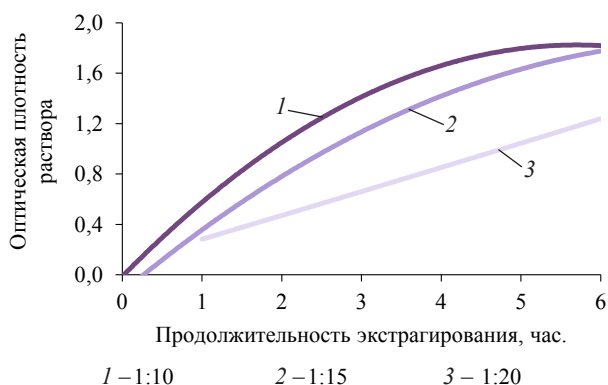


Рисунок 3 – Изменение оптической плотности экстрактов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) без УЗ обработки
Figure 3 – Changes in the optical density of black currant extracts (*Ribes nigrum* L.) without ultrasonic treatment

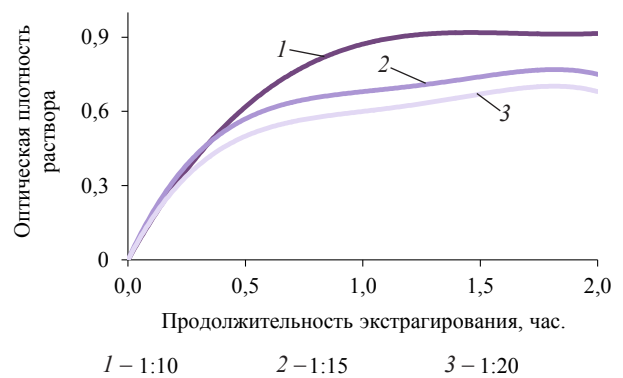


Рисунок 4 – Изменение оптической плотности экстрактов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) без УЗ обработки

Figure 4 – Changes in the optical density of sea buckthorn extracts (*Hippophae rhamnoides* L.) without ultrasonic treatment

методов. В результате определено содержание БАВ-фитонцидов (таблица 3), экспериментальные данные которой дополнены рассчитанными по методике [12] коэффициентами извлечения α .

Из представленных в таблице 3 данных видно, что значение коэффициента извлечения экстрактивных веществ в контрольных образцах одинаковое для ягод смородины и облепихи. Это

Таблица 3 – Содержание биологически активных веществ в экстрактах ягодного сырья

Table 3 – The content of biologically active substances in the berry extracts

Вид сырья	<i>Ribes nigrum</i> L.	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.
Контрольные образцы		
Экстрактивные вещества		
Массовая доля, %	10,4 ± 1,1	9,9 ± 0,9
Коэффициент извлечения α	0,25	0,25
Флавоноиды		
Массовая доля, %	0,93 ± 0,03	0,51 ± 0,03
Коэффициент извлечения α	0,10	0,10
Дубильные вещества		
Массовая доля, %	0,70 ± 0,04	0,81 ± 0,08
Коэффициент извлечения α	0,13	0,13
Аскорбиновая кислота		
Массовая доля, %	0,514 ± 0,002	0,320 ± 0,001
Коэффициент извлечения α	0,12	0,10
Опытные образцы с УЗ обработкой		
Экстрактивные вещества		
Массовая доля, %	12,3 ± 1,2	11,5 ± 1,0
Коэффициент извлечения α	0,30	0,29
Флавоноиды		
Массовая доля, %	1,02 ± 0,04	0,56 ± 0,04
Коэффициент извлечения α	0,11	0,11
Дубильные вещества		
Массовая доля, %	0,81 ± 0,04	0,92 ± 0,08
Коэффициент извлечения α	0,16	0,15
Аскорбиновая кислота		
Массовая доля, %	0,586 ± 0,002	0,375 ± 0,001
Коэффициент извлечения α	0,14	0,12

свидетельствует о их родственном химическом составе и близкой кислотности ягод, которая является одним из факторов, способствующих растворимости ряда БАВ (дубильных веществ, аскорбиновой кислоты, флавоноидов). При этом, по сравнению с флавоноидами, более полно экстрагируются из ягодного сырья дубильные вещества и аскорбиновая кислота. Степень перехода флавоноидов можно увеличить, если использовать раствор с большей концентрацией этанола, что объясняется более высокой растворимостью дубильных веществ и аскорбиновой кислоты в воде (особенно горячей) и в водных растворах этанола (при низкой концентрации спирта). Флавоноиды, те из них, которые обладают Р-витаминной активностью (рутин, кверцетин, эпикатехин, гесперидин и др.), относятся к водорастворимым соединениям. Флавоноид-агликоны, в большей степени, являются гидрофобными, чем гидрофильными соединениями. Растворимость кверцетина, у которого в молекуле пять гидроксильных групп, в воде весьма ограничена. Лютеолин и кемпферол, молекулы которых имеют только на одну гидроксильную группу меньше, чем молекула кверцетина, в воде уже практически нерастворимы. Несколько лучше растворяются в воде флавоноид-гликозиды. Анализ полученных данных показывает, что для извлечения водорастворимых соединений дубильных веществ и аскорбиновой кислоты следует считать оптимальной концентрацией экстрагента – раствор этанола 40 % об., что связано с лучшей растворимостью БАВ в воде, особенно в кислой среде по сравнению с экстрагированием флавоноидов.

Анализируя процесс получения экстрактов с использованием УЗ воздействия, согласно данным таблицы 3, можно отметить тенденцию увеличения значений коэффициентов извлечения как экстрактивных веществ в целом, так и БАВ в частности. Данное явление можно объяснить механическим воздействием ультразвука на растительную ткань вследствие чего процесс перехода водорастворимых компонентов из мезги в экстракт значительно интенсифицируется. В результате кавитации за счет образования и схлопывания пузырьков воздуха происходит механическое разрушение клеточных структур и коэффициент диффузии увеличивается. Это ускоряет процесс перехода экстрактивных веществ в растворитель за счет их вымывания. Возникающие конвективные течения и гидродинамические потоки, способствуют интенсивному перемешиванию биомассы и растворенных в цитозоле клетки биологически активных веществ в результате чего ускоряется процесс извлечения.

Выводы

В ходе исследований изучены и обоснованы новые технологические приемы получения фитобиотических фармсубстанций на основе экстрактов ягодного сырья Сибирского региона. Получены новые данные по изменению показателей качества фармсубстанций ягод смородины черной (*Ribes nigrum* L.) и облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.). Для изученного сырья с использованием методов высокоэффективной жидкостной хроматографии исследовано содержание биологически активных веществ и динамика изменения антибактериальной активности. Установлен синергизм основных компонентов сырья – флавоноидов, дубильных веществ и аскорбиновой кислоты, входящих в комплекс фитобиотических экстрактов, и их влияние на антибактериальную активность в отношении штаммов некоторых видов патогенной, условно патогенной и нежелательной микрофлоры.

Исследованы технологические приемы интенсификации процессов получения жидких водно-спиртовых экстрактов ягодного сырья в условиях ультразвуковой обработки при частоте УЗ воздействия 22 кГц и интенсивности 2 Вт/см² при варьировании значениями гидромодуля растворов. Основываясь на данных по изменению оптической плотности экстрактов в ходе процесса извлечения, получена качественная картина суммарного перехода биоактивных компонентов сырья в раствор и построены кинетические кривые извлечения.

Проведен сравнительный анализ процессов экстрагирования по традиционной технологии методом мацерации и в условия УЗ обработки. Установлено, что продолжительность экстрагирования при величине гидромодуля 1:15, уменьшилась с 300 мин до 15–20 мин при достижении сопоставимых значений равновесных концентраций экстрактивных веществ в сравнении с контрольными образцами растворов без обработки.

Опытным путем выявлено изменение качественного и количественного состава экстрактивных веществ, активных компонентов. Найдены значения коэффициентов извлечения для исследуемого ягодного сырья. Установлено, что, по сравнению с флавоноидами, более полно экстрагируются из ягодного сырья дубильные вещества и аскорбиновая кислота. Рекомендовано для извлечения водорастворимых соединений дубильных веществ и аскорбиновой кислоты считать оптимальной концентрацией экстрагента – раствор этанола 40 % об., обеспечивающую лучшую растворимость БАВ в воде.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Мистратова, Н. А. Анализ зарубежного опыта производства и реализации органической продукции сельского хозяйства / Н. А. Мистратова, А. В. Коломейцев, М. А. Янова // Вестник КрасГАУ. – 2018. – Т. 137, № 2. – С. 162–165.

2. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных / О. А. Багно, О. Н. Прохоров, С. А. Шевченко [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 4. – С. 687–697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>.
3. Оценка воздействия на кишечную микрофлору птицы веществ, обладающих антибиотическим, пробиотическим и анти-Quorum Sensing эффектами / Г. К. Дускаев, Е. А. Дроздова, Е. С. Алешина [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2017. – Т. 211, № 11. – С. 84–87. DOI: <https://doi.org/10.25198/1814-6457-211-84>.
4. Замбулаева, Н. Д. Исследование антиоксидантных и антимикробных свойств биопротекторов из отходов соковых производств как ингредиентов для обогащения продуктов питания / Н. Д. Замбулаева, С. Д. Жамсаранова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2018. – Т. 8, № 1. – С. 51–58. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-51-58>.
5. Богданова, О. А. Антимикробные свойства растительных экстрактов для безалкогольных напитков / О. А. Богданова, Т. Н. Иванова, Е. В. Сибирская // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2014. – Т. 24, № 1. – С. 103–107.
6. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдралилов [и др.]. – Пушино : Synchronbook, 2013. – 310 с.
7. Wildman, R. E. C. Handbook of nutraceuticals and functional foods / R. E. C. Wildman. – GRS Press, 2007. – 542 с.
8. Еркенова, М. Н. Исследование антимикробных и антиоксидантных свойств растительных экстрактов [Электронный ресурс] / М. Н. Еркенова, М. К. Мурзахметова, А. Н. Аралбаева // Студенческий. – 2017. – № 1. – С. 5–12. – Режим доступа: <https://sibac.info/journal/student/1/70626>. – Дата обращения: 08.12.2018.
9. Базарнова, Ю. Г. Исследование содержания некоторых биологически активных веществ, обладающих антиоксидантной активностью, в дикорастущих плодах и травах / Ю. Г. Базарнова // Вопросы питания. – 2007. – Т. 76, № 1. – С. 22–26.
10. Bakin, I. A. Choice of fruit and berry raw materials for extracts based on field marketing research / I. A. Bakin, A. S. Mustafina, L. A. Aleksenko // European Science and Technology: materials of the VII international research and practice conference. – Munich, 2014. – Vol. 1. – P. 180–186.
11. Research of process of extraction of biologically active substances (BAS) from plant raw materials in the conditions of ultrasonic extraction / E. V. Averyanova, V. N. Khmelev, S. N. Tsyganok [et al.] // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2017 / Novosibirsk State Technical University. – Novosibirsk, 2017. – P. 255–259. DOI: <https://doi.org/10.1109/EDM.2017.7981751>.
12. Аверьянова, Е. В. Теоретические и практические аспекты использования растительного сырья Алтайского края в производстве функциональных продуктов питания / Е. В. Аверьянова, М. Н. Школьников. – Бийск : Алтайский государственный технический университет, 2015. – 195 с.
13. Калякина, С. А. Биологические и биохимические особенности новых черноплодных и зеленоплодных сортообразцов смородины чёрной как перспективных источников лекарственного сырья: автореф. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Калякина Саида Абидиновна. – Мичуринск, 2008. – 23 с.
14. Мякишева, Н. В. Изучение биологически активных веществ ягод черной смородины в процессе хранения / Н. В. Мякишева, Е. Н. Артемова // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – Т. 30, № 3. – С. 36–40.
15. Петрова, С. Н. Состав плодов и листьев смородины черной *Ribes nigrum* (обзор) / С. Н. Петрова, А. А. Кузнецова // Химия растительного сырья. – 2014. – № 4. – С. 43–50.
16. Analysis of Lipophilic and Hydrophilic Bioactive Compounds Content in Sea Buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) Berries / M. Teleszko, A. Wojdyło, M. Rudzińska [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2015. – Vol. 16, № 63. – P. 4120–4129. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00564>.
17. Ershova, E. Biochemical characteristics of Altai seabuckthorn varieties / E. Ershova // Seabuckthorn (*Hippophae* L.): A multipurpose wonder plant Vol. IV: Emerging trends in research and technologies / V. Singh, B. Yang, S. Choudhary [et al.]. – New Delhi : Daya Publishing House, 2014. – P. 297–307.
18. Sea buckthorn: Monograph / Yu. A. Koshelev, L. D. Ageeva, E. S. Batashov [et al.]. – Biysk : Polzunov Altai State Technical, 2015. – 401 p.
19. Школьников, М. Н. Методологические аспекты формирования и оценки качества многокомпонентных напитков на основе растительного сырья: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.15 / Школьников Марина Николаевна. – Кемерово, 2012. – 438 с.
20. Бакин, И. А. Влияние комплексных технологических приемов обработки на экстрагирование ягодного сырья / И. А. Бакин, А. С. Мустафина, П. Н. Лунин // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – Т. 353–354, № 5–6. – С. 24–27.

References

1. Mistratova N.A., Kolomeytsev A.V., and Yanova M.A. The analysis of foreign experience of making and realization of organic production of agriculture. *The Bulletin of KrasGAU*, 2018, vol. 137, no. 2, pp. 162–165. (In Russ.).
2. Bagn O.A., Prokhorov O.N., Shevchenko S.A., Shevchenko A.I., and Dyadichkina T.V. Use of phytobiotics in farm animal feeding. *Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 4, pp. 687–697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>.
3. Duskaev G.K., Drozdova E.A., Alyoshina E.S., and Bezryadina A.S. Estimation of impact on the intestinal microflora of birds of substances with antibiotic, probiotic and anti-quorum sensing effects. *Vestnik of the Orenburg State University*, 2017, vol. 211, no. 11, pp. 84–87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25198/1814-6457-211-84>.

4. Zambulaeva N.D. and Zhamsaranova S.D. Investigation of the antioxidant and antimicrobial properties of juice processing by-products for use as ingredients for the enrichment of food products. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 51–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-51-58>.
5. Bogdanova E.V., Ivanova T.N., and Sibirskaya E.V. Antimicrobial properties of plant extracts for soft drinks. *Technology and merchandising of the innovative foodstuff*, 2014, vol. 24, no. 1, pp. 103–107. (In Russ.).
6. Tarakhovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., and Muzafarov E.N. *Flavonoidy: biokhimiya, biofizika, meditsina* [Flavonoids: biochemistry, biophysics, and medicine]. Pushchino: Synchronbook Publ., 2013. 310 p. (In Russ.).
7. Wildman R.E.C. *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. GRS Press Publ., 2007. 542 c.
8. Erkenova M.N., Murzakhmetova M.K., and Aralbaeva A.N. Issledovanie antimikrobykh i antioksidantnykh svoystv rastitel'nykh ehks-traktov [Study of the antimicrobial and antioxidant properties of plant extracts]. *Studencheskiy* [Students' Journal], 2017, no. 1, pp. 5–12. (In Russ.). Available at: <https://sibac.info/journal/student/1/70626>. (accessed 8 December 2018).
9. Bazarnova Yu.G. Study of content of some food supplements with antioxidant activity in wild herbs and berries. *Problems of Nutrition*, 2007, vol. 76, no. 1, pp. 22–26. (In Russ.).
10. Bakin I.A., Mustafina A.S., and Aleksenko L.A. Choice of fruit and berry raw materials for extracts based on field marketing research. *European Science and Technology: materials of the VII international research and practice conference*. Munich, 2014, vol. 1, pp. 180–186.
11. Averyanova E.V., Khmelev V.N., Tsyganok S. N., and Shakura V.A. Research of process of extraction of biologically active substances (BAS) from plant raw materials in the conditions of ultrasonic extraction. *18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2017*. Novosibirsk, 2017, pp. 255–259. DOI: <https://doi.org/10.1109/EDM.2017.7981751>.
12. Aver'yanova E.V. and Shkol'nikova M.N. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty ispol'zovaniya rastitel'nogo syr'ya Altayskogo kraya v proizvodstve funktsional'nykh produktov pitaniya* [Theoretical and practical aspects of the use of plant materials of the Altai Territory in the production of functional foods]. Biysk: Altai State Technical University Publ., 2015. 195 p. (In Russ.).
13. Kalyakina S.A. *Biologicheskie i biokhimicheskie osobennosti novykh chernoplodnykh i zeleno-plodnykh sortoobraztsov smorodiny chyornoj kak perspektivnykh istochnikov lekarstvennogo syr'ya. Diss. kand. sel'skokhoz nauk* [Biological and biochemical features of new black-fruited and green-bearing varieties of black currant as promising sources of medicinal raw materials. Cand. agricultural sci. diss.]. Michurinsk, 2008, 24 p.
14. Myasishcheva N.V. and Artyomova E.N. Studying of biologically active substances berries of a black currant during storage. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2013, vol. 30, no. 3, pp. 36–40. (In Russ.).
15. Petrova S.N. and Kuznetsova A.A. Composition of fruits and leaves of black currant *Ribes Nigrum* (review). *Chemistry of plant raw material*, 2014, no. 4, pp. 43–50. (In Russ.).
16. Teleszko M., Wojdyło A., Rudzińska M., Oszmiański J., and Golis T. Analysis of Lipophilic and Hydrophilic Bioactive Compounds Content in Sea Buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, vol. 16, no. 63, pp. 4120–4129. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00564>
17. Ershova E. Biochemical characteristics of Altai seabuckthorn varieties. In: Singh V., Yang B., Choudhary S., et al. *Seabuckthorn (Hippophae L.): A multipurpose wonder plant Vol. IV: Emerging trends in research and technologies*. New Delhi: Daya Publ., 2014, pp. 297–307.
18. Koshelev Yu.A., Ageeva L.D., Batashov E.S., et al. *Sea buckthorn*. Biysk: Polzunov Altai State Technical Publ., 2015. 401 p.
19. Shkol'nikova M.N. *Metodologicheskie aspekty formirovaniya i otsenki kachestva mnogokomponentnykh napitkov na osnove rastitel'nogo syr'ya. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Methodological aspects of the formation and evaluation of the quality of multicomponent beverages from vegetable raw materials. Dr. eng. sci. diss.]. Kemerovo, 2012, 438 p.
20. Bakin I.A., Mustafina A.S., and Lunin P.N. Influence of complex technological methods of processing on extraction of berry raw materials. *News institutes of higher Education. Food technology*, 2016, vol. 353–354, no. 5–6, pp. 24–27. (In Russ.).

Школьникова Марина Николаевна

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии, ФГБОУ ВО Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, e-mail: shkolnikova.m.n@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Бакин Игорь Алексеевич

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: + 7 (923) 600-30-30, e-mail: bakin@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>

Marina N. Shkol'nikova

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department Biotechnology, Biysk Technological Institute is a subsidiary of Polzunov Altai State Technical University, 27, Trofimova Str., Biysk, 659305, Russia, e-mail: shkolnikova.m.n@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>


Igor A. Bakin

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department Technological Design of Food Production, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: + 7 (923) 600-30-30, e-mail: bakin@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>

Мустафина Анна Сабирдзяновна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры региональной и отраслевой экономики, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

 <https://orcid.org/0000-0003-4895-7226>

Anna S. Mustafina

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department Regional and Sectoral Economy, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia.

 <https://orcid.org/0000-0003-4895-7226>

Алексенко Леонид Алексеевич

аспирант кафедры технологии хранения и обработки агропродуктов, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт», 650056, Россия, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5.

 <https://orcid.org/0000-0002-4206-1894>

Leonid A. Aleksenko

Graduate student of the Department of Agropduct's Storage and Processing Technology, Kemerovo State Agricultural Institute, 5, Markovtseva Str., Kemerovo, 650056, Russia.

 <https://orcid.org/0000-0002-4206-1894>