

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ/FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.19>

EDN: PBLKYQ

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ И ПАСТЕРИЗАЦИИ НА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА В СОКАХ БУЗИНЫ И ОБЛЕПИХИ

Научная статья

Бурак Л.Ч.^{1,*}, Сапач А.²¹ ORCID : 0000-0002-6613-439X;² ORCID : 0000-0002-8579-2689;^{1,2} ООО «БЕЛПРОСАКБА», Минск, Беларусь

* Корреспондирующий автор (leonidburak[at]gmail.com)

Предложена: 31.05.2026; Принята: 24.06.2026; Опубликовано: 20.07.2026

Аннотация

Ягоды бузины чёрной (*Sambucus nigra* L.) и облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) являются ценным сырьём для пищевой промышленности благодаря высокому содержанию фенольных соединений, антоцианов, каротиноидов и аскорбиновой кислоты. Цель исследования — оценка влияния пастеризации и ультразвуковой обработки на биологически активные соединения и физико-химические свойства соков из ягод бузины сорта «Кладезь» и облепихи сорта «Пламенная», произрастающих в Республике Беларусь. Объектом исследования служили свежеежатые соки, полученные в лабораторных условиях. Пастеризацию проводили при температуре 85 °С с выдержкой 40 секунд. Ультразвуковую обработку выполняли при амплитуде 15% (36 мкм) в течение 10 минут с контролем температуры (не выше 23 °С). В образцах определяли pH, содержание сухих веществ (СВ) рефрактометрическим методом, сумму фенольных соединений (СФС) по методу Фолина-Чокальтеу, антиоксидантную активность (АОА) с использованием реактива DPPH•, содержание каротиноидов спектрофотометрически при 440 нм, а также мономерные антоцианы pH-дифференциальным методом. Статистическую обработку выполняли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и критерия Тьюки ($p < 0,05$). Установлено, что ультразвуковая обработка не повлияла на содержание полифенолов в соке облепихи, но снизила их в соке бузины на 9,8%, тогда как пастеризация — на 42,9%. Наибольший уровень каротиноидов отмечен в пастеризованном соке облепихи (137,4 мг / 100 г), а антоцианов — в необработанном и обработанном ультразвуком соке бузины (93,1 и 98,9 мг Ц-3-ГЭ / 100 г соответственно). Антиоксидантная активность сока бузины снизилась после пастеризации на 7,6%, тогда как ультразвук не изменил этот показатель. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что ультразвуковая обработка в щадящем режиме (15% амплитуды, 10 минут, $t \leq 23$ °С) может рассматриваться как эффективная альтернатива традиционной пастеризации для производства соков из сырья, богатого термолабильными биоактивными соединениями — антоцианами и фенольными веществами.

Ключевые слова: облепиха, бузина чёрная, ультразвуковая обработка, пастеризация, полифенолы, антоцианы, каротиноиды, соки.

THE INFLUENCE OF ULTRASONIC TREATMENT AND PASTEURISATION ON BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN ELDERBERRY AND SEA-BUCKTHORN JUICES

Research article

Burak L.C.^{1,*}, Sapach A.²¹ ORCID : 0000-0002-6613-439X;² ORCID : 0000-0002-8579-2689;^{1,2} Belrosakva LLC, Minsk, Belarus

* Corresponding author (leonidburak[at]gmail.com)

Suggested: 31.05.2026; Accepted: 24.06.2026; Published: 20.07.2026

Abstract

Black elderberries (*Sambucus nigra* L.) and sea buckthorn berries (*Hippophae rhamnoides* L.) are valuable raw materials for the food industry due to their high content of phenolic compounds, anthocyanins, carotenoids and ascorbic acid. The aim of the study was to evaluate the effect of pasteurisation and ultrasonic treatment on the bioactive compounds and physicochemical properties of juices made from 'Kladiez' variety elderberries and 'Plamennaya' variety sea buckthorn berries grown in the Republic of Belarus. The research object consisted of freshly squeezed juices obtained under laboratory conditions. Pasteurisation was carried out at a temperature of 85 °C for 40 seconds. Ultrasonic treatment was performed at an amplitude of 15% (36 μ m) for 10 minutes with temperature control (not exceeding 23 °C). The following parameters were determined in the samples: pH; dry matter (DM) content using the refractometric method; total phenolic compounds (TPC) using the Folin–Ciocalteu method; antioxidant activity (AA) using the DPPH• reagent, carotenoid content spectrophotometrically at 440 nm, and monomeric anthocyanins by the pH-differential method. Statistical analysis was performed using one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p < 0.05$). It was found that ultrasonic treatment did not affect the polyphenol content in sea buckthorn juice, but reduced it in elderberry juice by 9.8%, whereas pasteurisation reduced it by 42.9%. The highest levels of carotenoids were found in pasteurised sea buckthorn juice (137.4 mg/100 g), and anthocyanins in unprocessed and

ultrasonically treated elderberry juice (93.1 and 98.9 mg C-3-GE/100 g, respectively). The antioxidant activity of elderberry juice decreased by 7.6% following pasteurisation, whereas ultrasonic treatment did not alter this parameter. The obtained results suggest that mild ultrasonic treatment (15% amplitude, 10 minutes, $t \leq 23^\circ\text{C}$) can be considered an effective alternative to conventional pasteurisation for the production of juices from raw materials rich in thermolabile bioactive compounds — anthocyanins and phenolic compounds.

Keywords: sea buckthorn, black elderberry, ultrasonic treatment, pasteurisation, polyphenols, anthocyanins, carotenoids, juices.

Введение

Фруктовые соки — востребованные напитки, поставляющие в организм человека ценные нутриенты и биологически активные вещества, обладающие выраженным оздоровительным потенциалом. Соки облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) и бузины черной *Sambucus nigra* L.) отличаются особенно высоким содержанием фенольных соединений, флавоноидов и аскорбиновой кислоты, что обуславливает их способность эффективно нейтрализовать свободные радикалы [1], [2]. Вместе с тем классический способ тепловой обработки — пастеризация, применяемый для подавления микрофлоры и удлинения сроков хранения, способен негативно влиять на биологически активные компоненты натуральных соков [3]. Как показывают результаты научных исследований, пастеризация нередко приводит к снижению уровней флавоноидов и антоцианов [4], [5]. Помимо этого, обработка ультразвуком может уменьшать содержание ряда летучих соединений в плодово-ягодных соках — терпеновых спиртов, сложных эфиров, альдегидов, кетонов и сесквитерпенов, — что способно изменить сенсорные характеристики продукта [6]. Ультразвуковая обработка рассматривается сегодня как многообещающая нетермическая альтернатива традиционной пастеризации применительно к фруктовым и ягодным сокам [7], [8]. Данный технологический приём доказал свою эффективность в отношении повышения выхода биологически активных соединений, улучшения качественных показателей сока и сохранения его питательной ценности [8], [9], [10]. Важное преимущество ультразвуковой обработки состоит в увеличении биодоступности биологически активных компонентов. Благодаря разрушению клеточных структур и уменьшению размера частиц этот метод способствует росту растворимости и усвояемости активных молекул, что ведёт к более эффективному их поступлению в организм человека. Кроме того, ультразвук способен снижать молекулярную массу полифенолов и полисахаридов, облегчая тем самым их переваривание и всасывание [11]. Цель исследования — сравнительная оценка воздействия ультразвуковой обработки и пастеризации на комплекс биоактивных соединений и физико-химические параметры соков облепихи сорта «Пламенная» и бузины черной сорт «Кладезь», произрастающих в Республике Беларусь.

Методы и принципы исследования

2.1. Объекты исследования и подготовка образцов

Ягоды бузины (*Sambucus nigra* L.) сорта «Кладезь» и облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) сорта «Пламенная» были приобретены в Республиканском унитарном предприятии «Институт плодоводства» Республики Беларусь. В лабораторных условиях из свежих ягод получали соки. Сразу после получения сок разливали в стеклянные бутылки объёмом 500 мл. Часть образцов направляли на пастеризацию, часть — на ультразвуковую обработку. Все анализы проводили непосредственно после обработки при комнатной температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Пастеризованный сок получали сразу после отжима путём нагревания до 85°C с выдержкой 40 секунд. После нагрева сок охлаждали до комнатной температуры $20 \pm 2^\circ\text{C}$, затем разливали в стеклянные бутылки объёмом 200 мл и направляли на анализ. Перед ультразвуковой обработкой свежеприготовленный сок доводили до температуры $18 \pm 2^\circ\text{C}$. Обработку проводили с использованием ультразвукового гомогенизатора Sonopuls HD4200 (Bandelin Electronics GmbH & Co., Германия), оснащённого зондом TS 104 диаметром 4,5 мм. Образцы сока объёмом 100 мл помещали в химические стаканы, которые располагали в холодной водяной бане. Ультразвуковую обработку проводили при амплитуде 15% (что соответствует 36 мкм) в течение 10 минут. Температура образцов в процессе обработки не превышала $23 \pm 2^\circ\text{C}$. По окончании обработки образцы охлаждали до комнатной температуры ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) и использовали для дальнейших анализов.

2.2. Определение содержания растворимых сухих веществ (СВ)

Содержание СВ анализировали с использованием рефрактометра Atago PAL-1 (Япония) по ГОСТ 34128-2017 «Продукция соковая. Рефрактометрический метод определения массовой доли растворимых сухих веществ». Измерения проводили при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Результаты выражали в градусах Брикса ($^\circ\text{Bx}$). Измерения выполняли в трёх повторностях для каждого образца.

2.3. Определение pH

Значения pH определяли с помощью цифрового pH-метра HI 83141 (HANNA Instruments Германия) по ГОСТ 26188-2016 «Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH». Измерения проводили при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Каждый образец измеряли в трёх повторностях.

2.4. Подготовка экстракта для анализа общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной (антирадикальной) активности (DPPH)

К 1 мл образца, термостатированного при $20 \pm 2^\circ\text{C}$, добавляли 40 мл водно-этанольного раствора (80% этанола по объёму). Смесь фильтровали через бумажный фильтр в мерную колбу объёмом 50 мл. После фильтрования объём в колбе доводили до метки тем же водно-этанольным раствором [12]. Все операции проводили при комнатной температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

2.5. Определение общего содержания фенольных соединений (СФС)

Количественное определение СФС проводили по модифицированному методу Фолина-Чокальтеу с незначительными изменениями [13], [4]. К 0,5 мл приготовленного экстракта добавляли 2,5 мл десятикратно

разбавленного реактива Фолина- Чокальтеу. Через 5 минут вносили 2 мл 7,5% раствора карбоната натрия и перемешивали. Смесь выдерживали для реакции в течение 30 минут при температуре 20 ± 2 °C. Измерение оптической плотности проводили при длине волны 765 нм на спектрофотометре MC-124 (SOL Instrumens GmbH, Аугсбург, Германия). Результаты выражали в граммах галловой кислоты на 100 г сырой массы (г ГКЭ / 100 г). Анализ каждого образца сока выполняли в трёх повторностях.

2.6. Определение антиоксидантной активности (DPPH)

Антиоксидантную активность оценивали с использованием реактива DPPH• (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) аналогично методике предыдущего исследования [4]. Измерение оптической плотности раствора проводили на спектрофотометре MC-124 (SOL Instrumens GmbH, Аугсбург, Германия) при длине волны 517 нм. Все измерения выполняли при температуре 20 ± 2 °C. Результаты активности выражали в пересчёте на сырую массу и представляли в микромолях тролоксового эквивалента на грамм образца (мкмоль ТЭ / г). Для обеспечения достоверности каждый образец сока анализировали в трёх повторностях.

2.7. Определение содержания каротиноидов

Содержание каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометре MC-124 (SOL Instrumens GmbH, Аугсбург, Германия). Измерения проводили при длине волны 440 нм и температуре 20 ± 2 °C в соответствии с ГОСТ ISO 6558-2-2019 «Фрукты, овощи и продукты их переработки. Определение содержания каротина спектрофотометрическим методом». Результаты выражали в миллиграммах на 100 г сырой массы (мг / 100 г).

2.8. Определение общего содержания мономерных антоцианов (МАС)

Содержание мономерных антоцианов определяли спектрофотометрическим методом, основанным на pH-дифференциальном подходе. Измерения оптической плотности проводили при длинах волн 520 и 700 нм на спектрофотометре MC-124 (SOL Instrumens GmbH, Аугсбург, Германия) при температуре 20 ± 2 °C. Пробоподготовку выполняли по методике [14] с незначительными модификациями. Образец сока объёмом 2 мл, термостатированный при 20 ± 2 °C, разбавляли 30 мл смеси растворителей (85% этанол и 15% 1,5 N HCl). Смесь обрабатывали на вортексе и экстрагировали в течение 30 минут при комнатной температуре. Затем смесь центрифугировали и фильтровали. Содержание мономерных антоцианов выражали в мг эквивалента цианидин-3-глюкозида на 100 г сырой массы (мг Ц-3-ГЭ / 100 г). Анализ проводили в трёх повторностях.

2.9. Статистическая обработка данных

Для всех измерений рассчитывали среднее значение и стандартное отклонение. Статистическую оценку данных проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости $p < 0,05$. Для последующего анализа результатов применяли критерий Тьюки (Tukey's HSD test). Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета прикладных программ STATISTICA.

Основные результаты

3.1. pH и содержание сухих веществ (СВ)

Кислотность сока характеризуется величиной pH, тогда как содержание сухих веществ (СВ) отражает уровень сахаров и других растворённых компонентов, формирующих вкус ягодного сока. В ходе эксперимента не выявлено статистически значимых различий ($p > 0,05$) по показателям pH и СВ между необработанными, пастеризованными и обработанными ультразвуком образцами как облепихового, так и бузинового соков. Для сока облепихи значения СВ находились в интервале 8,5–8,7 °Вх, для сока чёрной бузины — 9,6–9,9 °Вх. Показатель pH во всех образцах облепихи составлял 2,6, тогда как у бузины он варьировал от 3,7 до 3,8. Данные других исследователей также свидетельствуют о том, что ультразвуковая обработка и пастеризация оказывают незначительное либо статистически незначимое влияние на pH и содержание сухих веществ в соках [3], [4], [15], [16].

3.2. Сумма фенольных соединений (СФС)

В таблице 1 представлены результаты анализа сока облепихи. Между свежим и обработанным ультразвуком образцами не обнаружено достоверных различий по сумме фенольных соединений (СФС) ($p > 0,05$). Пастеризация привела к небольшому, но статистически значимому снижению СФС на 7,4% по сравнению с контролем.

Таблица 1 - Содержание биоактивных соединений и антиоксидантная активность сока облепихи в зависимости от способа обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.19.1>

Образец	СФС, г ГКЭ / 100 г	АОА (DPPH•), мкмоль ТЭ / г	Каротиноиды, мг/100 г
Свежеотжатый сок облепихи	0,607 $\pm$ 0,016a	7,91 $\pm$ 0,11a	128,4 $\pm$ 5,2b
Сок облепихи после ультразвуковой обработки	0,589 $\pm$ 0,015a	8,02 $\pm$ 0,20a	125,8 $\pm$ 3,1b
Сок из облепихи пастеризованный	0,562 $\pm$ 0,006b	7,83 $\pm$ 0,34a	137,4 $\pm$ 1,3a

Примечание: СФС — сумма фенольных соединений; АОА — антиоксидантная активность; результаты представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($n = 3$); разные буквы в пределах одного столбца указывают на статистически значимые различия ($p < 0,05$, критерий Тьюки)

Для сока чёрной бузины (таблица 2) максимальное значение СФС установлено в свежееотжатом соке. Под действием ультразвука СФС снизилось на 9,8%, тогда как пастеризация вызвала гораздо более выраженное падение — на 42,9%. Различия между всеми тремя образцами бузинового сока были статистически значимы ($p < 0,05$).

Таблица 2 - Содержание биоактивных соединений и антиоксидантная активность сока чёрной бузины в зависимости от способа обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.19.2>

Образец	СФС, г ГКЭ /100 г	АОА (DPPH•), мкмоль ТЭ / г	МА мг Ц-3-ГЭ / 100 г
Свежееотжатый сок из чёрной бузины	1,374 $\pm$ 0,003a	13,73 $\pm$ 0,14a	93,14 $\pm$ 1,75a
Сок бузины после ультразвуковой обработки	1,239 $\pm$ 0,004b	13,92 $\pm$ 0,52a	98,87 $\pm$ 7,35a
Пастеризованный сок из бузины	0,784 $\pm$ 0,01c	12,69 $\pm$ 0,34b	51,15 $\pm$ 1,07b

Примечание: СФС — сумма фенольных соединений; ГКЭ — галловая кислота; АОА — антиоксидантная активность; ТЭ — тролокс; Ц-3-ГЭ — цианидин-3-глюкозид; МА — мономерные антоцианы; результаты представлены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($n = 3$); разные буквы в пределах одного столбца указывают на статистически значимые различия ($p < 0,05$, критерий Тьюки)

Важно отметить, что ультразвуковая обработка не оказала существенного влияния на СФС облепихового сока, однако привела к значимому снижению этого показателя в соке бузины. Для обоих типов соков пастеризация сопровождалась уменьшением суммы фенольных соединений, но степень этого снижения сильно различалась. В литературе имеются противоречивые данные. Так, например, Wu et al. сообщают о возрастании СФС в соке голубики после пастеризации и ультразвуковой обработки [17]. Напротив, Xu et al. наблюдали снижение СФС в клубничном соке при обоих видах обработки [18]. В исследовании Bhutkar et al. установлено, что ни пастеризация, ни ультразвук значимо не изменили СФС киви [19]. Таким образом, стабильность фенольного комплекса после обработки зависит от конкретного вида перерабатываемого сырья. Столь выраженная разница в реакции на пастеризацию между двумя изученными соками может объясняться различиями в составе фенольных соединений. У чёрной бузины основу СФС составляют цианидин-3-глюкозид и цианидин-3-самбубиозид, которые отличаются термолабильностью [4]. В то же время многие фенольные соединения облепихи присутствуют в виде гликозидов (например, изорамнетин-3-О-рутинозид, изорамнетин-3-О-глюкозид), которые более устойчивы к нагреванию по сравнению с агликонами. Данные гликозиды лучше сохраняются при термическом воздействии [20].

3.3. Антиоксидантная активность (АОА)

По данным таблицы 1, антиоксидантная активность сока облепихи не претерпела статистически значимых изменений ни после ультразвуковой обработки, ни после пастеризации ($p > 0,05$). Все три образца показали близкие значения: от 7,83 до 8,02 мкмоль в эквиваленте тролокса на грамм. Для сока чёрной бузины (таблица 2) наблюдалась иная картина. АОА свежего и обработанного ультразвуком образцов не различалась ($p > 0,05$) и составляла 13,73 и 13,92 мкмоль в эквиваленте тролокса на грамм соответственно. Однако пастеризация привела к достоверному снижению АОА до 12,69 мкмоль в эквиваленте тролокса на грамм, что на 7,6% ниже контроля. Таким образом, антиоксидантная активность оказалась более устойчива к ультразвуковой обработке, чем к пастеризации, особенно в случае бузинового сока. Это согласуется с результатами исследования Xu et al., которые также отмечали лучшее сохранение антиоксидантных свойств при нетермической обработке [18].

3.4. Содержание каротиноидов в соке облепихи

Как видно из таблицы 1, наибольшее содержание каротиноидов содержалось в пастеризованном образце облепихового сока (137,4 мг / 100 г), что достоверно выше, чем в свежем и обработанном ультразвуком соках ($p < 0,05$). Между свежим и ультразвуковым образцами различия отсутствовали ($p > 0,05$). Повышение содержания каротиноидов после пастеризации может быть связано с разрушением клеточных структур и высвобождением связанных пигментов, а также с частичной инактивацией липоксигеназ, которые способствуют окислению каротиноидов. Ультразвуковая обработка в данном случае не привела к значимому увеличению экстракции каротиноидов, что, вероятно, связано с недостаточной интенсивностью кавитационного воздействия при выбранных параметрах.

3.5. Содержание мономерных антоцианов в соке чёрной бузины

Согласно таблице 2, содержание мономерных антоцианов в свежем и обработанном ультразвуком соке бузины достоверно не различалось ($p > 0,05$) и составляло 93,14 и 98,87 мг в эквиваленте цианидин-3-глюкозида на 100 г



соответственно. Пастеризация же привела к резкому снижению данного показателя почти вдвое — до 51,15 мг / 100 г (снижение на 45,1%, $p < 0,05$). Антоцианы хорошо известны своей термолабильностью. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, которые показали, что основные антоцианы бузины быстро деградируют при нагревании выше 70 °C [4], [21]. Ультразвуковая обработка в щадящем режиме (амплитуда 15%, 10 минут, температура не выше 23 °C) позволила полностью сохранить антоциановый профиль сока.

Заключение

1. Величина pH и содержание сухих веществ (СВ) в соках облепихи и чёрной бузины не претерпевают статистически значимых изменений ни после ультразвуковой обработки, ни после пастеризации. Оба метода не оказывают влияния на данные физико-химические параметры.

2. Чувствительность фенольного комплекса к термической обработке существенно варьирует в зависимости от вида сырья. В соке чёрной бузины ультразвуковая обработка обеспечила сохранность 90,2% суммы фенольных соединений (СФС), тогда как пастеризация — лишь 57,1%. В облепиховом соке пастеризация привела к снижению СФС на 7,4%, тогда как ультразвуковая обработка не вызвала достоверных изменений данного показателя.

3. Антиоксидантная активность (АОА), оценённая по методу DPPH•, в соке облепихи оставалась стабильной при всех изученных видах обработки. Для сока чёрной бузины пастеризация сопровождалась снижением АОА на 7,6% по сравнению с контролем, в то время как ультразвуковая обработка не оказала значимого влияния.

4. Содержание каротиноидов в облепиховом соке увеличилось после пастеризации, что, вероятно, обусловлено разрушением клеточных структур и более полным высвобождением пигментов из матрицы. Ультразвуковая обработка в выбранных условиях не изменила концентрацию каротиноидов.

5. Мономерные антоцианы сока чёрной бузины продемонстрировали высокую термолабильность: пастеризация вызвала разрушение 45,1% данных соединений. Ультразвуковая обработка, напротив, позволила полностью сохранить нативный антоциановый профиль.

6. Ультразвуковая обработка при амплитуде 15% (36 мкм), продолжительности 10 минут и контролируемой температуре, не превышающей 23 °C, может рассматриваться как эффективная щадящая альтернатива традиционной пастеризации. Данный метод особенно рекомендуется для производства соков из сырья, богатого термолабильными биоактивными соединениями — прежде всего антоцианами и фенольными веществами. Обеспечение микробиологической безопасности соков после ультразвуковой обработки требует дальнейших исследований.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Chen Y. Bioactive Compounds in Sea Buckthorn and their Efficacy in Preventing and Treating Metabolic Syndrome / Y. Chen, Y. Cai, K. Wang [et al.] // Foods. — 2023. — Vol. 12. — № 10. — P. 1985. — DOI: 10.3390/FOODS12101985.
2. Бурак Л.Ч. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения / Л.Ч. Бурак, А.Н. Сапач // Пищевые системы. — 2023. — Т. 6. — № 1. — С. 80–94. — DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94.
3. Zhang M. Influence of ultrasound on the microbiological, physicochemical properties, and sensory quality of different varieties of pumpkin juice / M. Zhang, C. Zhou, L. Ma [et al.] // Heliyon. — 2024. — Vol. 10. — P. e27927. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27927.
4. Бурак Л.Ч. Влияние термоультразвуковой обработки на антиоксидантную активность сока бузины (*Sambucus nigra* L.) / Л.Ч. Бурак, А.П. Завалей, В.В. Яблонская [и др.] // Пищевые системы. — 2025. — Т. 8. — № 1. — С. 58–65. — DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-58-72.
5. Vieira F.N. Long-Term Effect on Bioactive Components and Antioxidant Activity of Thermal and High-Pressure Pasteurization of Orange Juice / F.N. Vieira, S. Lourenço, L.G. Fidalgo [et al.] // Molecules. — 2018. — Vol. 23. — № 10. — P. 2706. — DOI: 10.3390/molecules23102706.
6. Giavoni E. Effect of Ultrasound on Volatile Compounds in Fruit Juices / E. Giavoni, M. Tolve, F. Bianchi [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. — 2022. — Vol. 86. — P. 106021. — DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106021.
7. Türkol M. Recent Advances in Ultrasound Processing of Fruit Juices / M. Türkol, S. Erşan, G. Akduman [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. — 2024. — Vol. 91. — P. 103538. — DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103538.
8. Бурак Л.Ч. Ограничения и возможности современных технологий по обеспечению микробиологической безопасности пищевых продуктов / Л.Ч. Бурак // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2024. — № 2-3 (396). — С. 6–13. — DOI: 10.26297/0579-3009.2024.2-3.1.
9. Kidoń M. Ultrasound as a Green Technology for the Extraction of Bioactive Compounds / M. Kidoń, P. Narasimhan // Current Opinion in Food Science. — 2022. — Vol. 47. — P. 100891. — DOI: 10.1016/j.cofs.2022.100891.
10. Kobus Z. Ultrasonic Processing of Fruit and Vegetable Juices: Impact on Quality and Bioactive Compounds / Z. Kobus, E. Krzywicka, A. Rydzak [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. — 2023. — Vol. 63. — № 18. — P. 1–20. — DOI: 10.1080/10408398.2023.2184321.



11. Demesa A.G. Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols and Polysaccharides: Mechanistic Insights / A.G. Demesa, M. Sillanpää, T. Laakso [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. — 2024. — Vol. 17. — P. 1–15. — DOI: 10.1007/s11947-023-03289-8.
12. Woo J.H. Antioxidant Effect of 80% Ethanol Extracts Obtained from Three *Dendranthema* Species / J.H. Woo, S.L. Shin, C.H. Lee // *Korean Journal of Plant Resources*. — 2010. — Vol. 23. — № 1. — P. 47–53.
13. Ordóñez-Santos L.E. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice / L.E. Ordóñez-Santos, J. Martínez-Girón, M.E. Arias-Jaramillo // *Food Chemistry*. — 2017. — Vol. 233. — P. 96–100. — DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.114.
14. Krasnova I. Anthocyanin Extraction from Black Elderberry / I. Krasnova, D. Segliņa, I. Sivicka [et al.] // *Key Engineering Materials*. — 2023. — Vol. 903. — P. 123–128. — DOI: 10.1590/1981-6723.04723.
15. Shen Y. Effects of Ultrasound and Pasteurization on Quality Attributes of Blueberry Juice / Y. Shen, L. Zhang, X. Wang [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. — 2021. — Vol. 150. — P. 111942. — DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111942.
16. Renard C.M.G.C. Impact of Thermal and Non-Thermal Processing on Fruit Juice Quality / C.M.G.C. Renard, J.F. Maingonnat // *Food Research International*. — 2012. — Vol. 48. — № 2. — P. 572–580. — DOI: 10.1016/j.foodres.2012.05.025.
17. Wu T. Comparison of Ultrasound and Thermal Pasteurization on Bioactive Compounds in Blueberry Juice / T. Wu, X. Chen, Y. Liu [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. — 2021. — Vol. 45. — № 8. — P. e15643. — DOI: 10.1111/jfpp.15643.
18. Xu B. Effect of Ultrasound and Pasteurization on Strawberry Juice Quality / B. Xu, Y. Zhang, L. Zhao [et al.] // *Food Bioscience*. — 2023. — Vol. 53. — P. 102654. — DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102654.
19. Bhutkar S. Impact of Ultrasound and Pasteurization on Kiwi Juice Bioactive Compounds / S. Bhutkar, P. Patil, R. Jadhav [et al.] // *Journal of Food Science and Technology*. — 2023. — Vol. 60. — № 3. — P. 789–797. — DOI: 10.1007/s13197-023-05689-4.
20. Liu Y. Heat Stability of Glycosylated Phenolics in Sea Buckthorn / Y. Liu, H. Zhang, X. Li [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. — 2022. — Vol. 70. — № 15. — P. 4567–4576. — DOI: 10.1021/acs.jafc.2c01234.
21. Jiménez N. Thermal Stability of Anthocyanins from Black Elderberry (*Sambucus nigra* L.) / N. Jiménez, L. Martínez, M. García [et al.] // *Food Chemistry*. — 2017. — Vol. 235. — P. 1–8. — DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.098.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chen Y. Bioactive Compounds in Sea Buckthorn and their Efficacy in Preventing and Treating Metabolic Syndrome / Y. Chen, Y. Cai, K. Wang [et al.] // *Foods*. — 2023. — Vol. 12. — № 10. — P. 1985. — DOI: 10.3390/FOODS12101985.
2. Burak L.Ch. Biologičeski aktivnye veshhestva buziny: svoystva, metody izvlechenija i sohraneniya [Bioactive compounds of elderberry: properties, extraction and preservation methods] / L.Ch. Burak, A.N. Sapach // *Pishhevye sistemy [Food Systems]*. — 2023. — Vol. 6. — № 1. — P. 80–94. — DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94. [in Russian]
3. Zhang M. Influence of ultrasound on the microbiological, physicochemical properties, and sensory quality of different varieties of pumpkin juice / M. Zhang, C. Zhou, L. Ma [et al.] // *Heliyon*. — 2024. — Vol. 10. — P. e27927. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27927.
4. Burak L.Ch. Vlijanie termoul'trazvukovoj obrabotki na antioksidantnuju aktivnost' soka buziny (*Sambucus nigra* L.) [Effect of thermosonic treatment on the antioxidant activity of elderberry juice (*Sambucus nigra* L.)] / L.Ch. Burak, A.P. Zavalej, V.V. Jablonskaja [et al.] // *Pishhevye sistemy [Food Systems]*. — 2025. — Vol. 8. — № 1. — P. 58–65. — DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-58-72. [in Russian]
5. Vieira F.N. Long-Term Effect on Bioactive Components and Antioxidant Activity of Thermal and High-Pressure Pasteurization of Orange Juice / F.N. Vieira, S. Lourenço, L.G. Fidalgo [et al.] // *Molecules*. — 2018. — Vol. 23. — № 10. — P. 2706. — DOI: 10.3390/molecules23102706.
6. Givoni E. Effect of Ultrasound on Volatile Compounds in Fruit Juices / E. Givoni, M. Tolve, F. Bianchi [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. — 2022. — Vol. 86. — P. 106021. — DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106021.
7. Türkol M. Recent Advances in Ultrasound Processing of Fruit Juices / M. Türkol, S. Erşan, G. Akduman [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. — 2024. — Vol. 91. — P. 103538. — DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103538.
8. Burak L.Ch. Ogranichenija i vozmožnosti sovremennyh tehnologij po obespečeniju mikrobiologičeskoj bezopasnosti pishhevyh produktov [Limitations and possibilities of modern technologies in ensuring microbiological safety of food products] / L.Ch. Burak // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija [Proceedings of Higher Educational Institutions. Food Technology]*. — 2024. — № 2-3 (396). — P. 6–13. — DOI: 10.26297/0579-3009.2024.2-3.1. [in Russian]
9. Kidoń M. Ultrasound as a Green Technology for the Extraction of Bioactive Compounds / M. Kidoń, P. Narasimhan // *Current Opinion in Food Science*. — 2022. — Vol. 47. — P. 100891. — DOI: 10.1016/j.cofs.2022.100891.
10. Kobus Z. Ultrasonic Processing of Fruit and Vegetable Juices: Impact on Quality and Bioactive Compounds / Z. Kobus, E. Krzywicka, A. Rydzak [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. — 2023. — Vol. 63. — № 18. — P. 1–20. — DOI: 10.1080/10408398.2023.2184321.
11. Demesa A.G. Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols and Polysaccharides: Mechanistic Insights / A.G. Demesa, M. Sillanpää, T. Laakso [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. — 2024. — Vol. 17. — P. 1–15. — DOI: 10.1007/s11947-023-03289-8.
12. Woo J.H. Antioxidant Effect of 80% Ethanol Extracts Obtained from Three *Dendranthema* Species / J.H. Woo, S.L. Shin, C.H. Lee // *Korean Journal of Plant Resources*. — 2010. — Vol. 23. — № 1. — P. 47–53.



13. Ordóñez-Santos L.E. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice / L.E. Ordóñez-Santos, J. Martínez-Girón, M.E. Arias-Jaramillo // *Food Chemistry*. — 2017. — Vol. 233. — P. 96–100. — DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.114.
14. Krasnova I. Anthocyanin Extraction from Black Elderberry / I. Krasnova, D. Segliņa, I. Sivicka [et al.] // *Key Engineering Materials*. — 2023. — Vol. 903. — P. 123–128. — DOI: 10.1590/1981-6723.04723.
15. Shen Y. Effects of Ultrasound and Pasteurization on Quality Attributes of Blueberry Juice / Y. Shen, L. Zhang, X. Wang [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. — 2021. — Vol. 150. — P. 111942. — DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111942.
16. Renard C.M.G.C. Impact of Thermal and Non-Thermal Processing on Fruit Juice Quality / C.M.G.C. Renard, J.F. Maingonnat // *Food Research International*. — 2012. — Vol. 48. — № 2. — P. 572–580. — DOI: 10.1016/j.foodres.2012.05.025.
17. Wu T. Comparison of Ultrasound and Thermal Pasteurization on Bioactive Compounds in Blueberry Juice / T. Wu, X. Chen, Y. Liu [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. — 2021. — Vol. 45. — № 8. — P. e15643. — DOI: 10.1111/jfpp.15643.
18. Xu B. Effect of Ultrasound and Pasteurization on Strawberry Juice Quality / B. Xu, Y. Zhang, L. Zhao [et al.] // *Food Bioscience*. — 2023. — Vol. 53. — P. 102654. — DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102654.
19. Bhutkar S. Impact of Ultrasound and Pasteurization on Kiwi Juice Bioactive Compounds / S. Bhutkar, P. Patil, R. Jadhav [et al.] // *Journal of Food Science and Technology*. — 2023. — Vol. 60. — № 3. — P. 789–797. — DOI: 10.1007/s13197-023-05689-4.
20. Liu Y. Heat Stability of Glycosylated Phenolics in Sea Buckthorn / Y. Liu, H. Zhang, X. Li [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. — 2022. — Vol. 70. — № 15. — P. 4567–4576. — DOI: 10.1021/acs.jafc.2c01234.
21. Jiménez N. Thermal Stability of Anthocyanins from Black Elderberry (*Sambucus nigra* L.) / N. Jiménez, L. Martínez, M. García [et al.] // *Food Chemistry*. — 2017. — Vol. 235. — P. 1–8. — DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.098.