

<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>
УДК 615.322; 66.084.8



Обзорная статья / Review article

Применение ультразвука в экстракции биологически активных соединений из растительного сырья, применяемого или перспективного для применения в медицине (обзор)

А. А. Елапов^{1*}, Н. Н. Кузнецов², А. И. Марахова¹

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН), 117198, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

² ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Баумана), 105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

*Контактное лицо: Елапов Александр Александрович. E-mail: 1042190109@rudn.ru

ORCID: А. А. Елапов – <https://orcid.org/0000-0002-5960-3223>; Н. Н. Кузнецов – <https://orcid.org/0000-0002-3474-9234>; А. И. Марахова – <https://orcid.org/0000-0003-4442-9266>.

Статья поступила: 01.12.2020

Статья принята в печать: 11.10.2021

Статья опубликована: 25.11.2021

Резюме

Введение. В настоящем обзоре рассмотрено современное состояние технологий ультразвукового выделения биологически активных компонентов из лекарственного растительного сырья и растительного сырья для использования в медицинской и косметологической практике. Основной акцент сделан на «зеленые» технологии, интенсифицирующие процессы выделения таких компонентов, как флавоноиды.

Текст. Современные технологии подразумевают использование комбинированных методов, включающих помимо ультразвука существенное измельчение сырья перед процессом экстракции, применение сверхкритических растворителей (сжиженных газов) под избыточным давлением. Также было рассмотрено влияние мощности ультразвука и температуры на выход извлекаемых компонентов.

Заключение. 1. Для увеличения выхода биологически активных соединений из растительного сырья среди различных физических методов интенсификации экстракции, доминирует применение ультразвука. 2. Ультразвуковую экстракцию можно разделить на несколько основных типов: экстракция в ультразвуковой ванне, применение погружных ультразвуковых излучателей, а также совмещение ультразвуковой экстракции с дополнительными видами воздействия. 3. В литературных источниках наиболее полно представлены примеры использования ультразвуковой экстракции для выделения фенольных соединений, причем отмечено, что параметры необходимо подбирать индивидуально для каждого отдельного растительного объекта. 4. Мощность ультразвука и характер экстрагента могут влиять на протекания окислительных процессов в экстракте, причем такие явления характерны не только для слишком высоких мощностей, но и для низких. 5. Ультразвук может значительно повысить выход биологически активных соединений даже при водной экстракции свежего сырья. 6. Спектр выбора экстрагентов для проведения ультразвуковой экстракции растительного сырья достаточно велик. Могут применяться как органические растворители (этанол, метанол, этилацетат, ацетон), так и вода, а также смеси различных экстрагентов.

Ключевые слова: лекарственное растительное сырье, ультразвук, мощность, температура, измельченность, избыточное давление, сверхкритическая экстракция

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. А. А. Елапов проводил поиск литературных данных. Н. Н. Кузнецов систематизировал литературные данные. А. И. Марахова систематизировала литературные данные, участвовала в оформлении статьи, формулировала заключение.

Благодарность. Исследование проводилось при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – докторов наук МД-1730.2021.3. Публикация выполнена при поддержке программы стратегического академического лидерства РУДН.

Для цитирования: Елапов А. А., Кузнецов Н. Н., Марахова А. И. Применение ультразвука в экстракции биологически активных соединений из растительного сырья, применяемого или перспективного для применения в медицине. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2021;10(4):96–116. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>

The Use of Ultrasound in the Extraction of Biologically Active Compounds from Plant Raw Materials, Used or promising for Use in Medicine (Review)

Alexander A. Elapov^{1*}, Nikolay N. Kuznetsov², Anna I. Marakhova¹

¹ Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 6, Mikluho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia

² Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, Bauman MSTU), 5/1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia

*Corresponding author: Alexander A. Elapov. E-mail: 1042190109@rudn.ru

ORCID: Alexander A. Elapov – <https://orcid.org/0000-0002-5960-3223>; Nikolay N. Kuznetsov – <https://orcid.org/0000-0002-3474-9234>; Anna I. Marakhova – <https://orcid.org/0000-0003-4442-9266>.

Received: 01.12.2020

Revised: 11.10.2021

Published: 25.11.2021

© Елапов А. А., Кузнецов Н. Н., Марахова А. И., 2021

© Elapov A. A., Kuznetsov N. N., Marakhova A. I., 2021

Abstract

Introduction. This review examines the current state of technology for ultrasonic isolation of biologically active components from medicinal vegetal raw materials. The main emphasis is placed on "green" technologies that intensify the processes of isolation of components such as flavonoids.

Text. Modern technologies imply the use of combined methods, including, in addition to ultrasound, significant grinding of raw materials before the extraction process, the use of supercritical solvents (liquefied gases) under excessive pressure. The effect of ultrasound power and temperature on the output of the extracted components was also considered.

Conclusion. 1. To increase the yield of biologically active compounds from plant raw materials among various physical methods of extraction intensification, the use of ultrasound dominates. 2. Ultrasonic extraction can be divided into several main types: extraction in an ultrasonic bath, the use of submersible ultrasonic emitters, as well as the combination of ultrasonic extraction with additional types of influence. 3. In the literature, examples of the use of ultrasonic extraction for the isolation of phenolic compounds are most fully presented, it being noted that the parameters need to be selected individually for each individual plant. 4. The power of ultrasound and the nature of the extractant can affect the course of oxidative processes in the extract, and such phenomena are characteristic not only for too high capacities, but also for low ones. 5. Ultrasound can significantly increase the yield of biologically active compounds even in aqueous extraction of fresh raw materials. 6. The spectrum of extractants selection for ultrasonic extraction of plant raw materials is quite large. Both organic solvents (ethanol, methanol, ethyl acetate, acetone) and water can be used, as well as mixtures of various extractants.

Keywords: medicinal plant raw materials, ultrasound, power, temperature, grinding, overpressure, supercritical extraction

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Alexander A. Elapov searched for literature data. Nikolay N. Kuznetsov systematized literary data. Anna I. Marakhova systematized literary data, participated in the design of the article, wrote the conclusion.

Acknowledgment. The study was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists – doctors of science MD-1730.2021.3. This publication was supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

For citation: Elapov A. A., Kuznetsov N. N., Marakhova A. I. The use of ultrasound in the extraction of biologically active compounds from plant raw materials, used or promising for use in medicine. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Drug development & registration*. 2021;10(4):96–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии получения биологически активных соединений (БАС) из растительного сырья направлены на оптимизацию процессов экстракции, которая заключается в подборе условий для обеспечения большего выхода продукта, сокращении времени извлечения, снижения себестоимости продукта. Для этих целей часто применяются различные физические методы, такие как действие ультразвука, электрического поля (растворитель является диэлектриком), инфракрасного света (разогрев экстракционной смеси, более мягкий, чем при прямом нагреве), микроволнового излучения, а также экстракция под воздействием высокого давления (до 500 Мпа). Подобные технологии существенно увеличивают выход биологически активных веществ из лекарственного растительного сырья (ЛРС), по сравнению с классическими методами экстракции [1].

В последнее время наблюдается большой интерес к использованию высокоэнергетических методов экстракции, которые включают микроволновую или ультразвуковую экстракцию для выделения природ-

ных биоактивных соединений из растительного лекарственного и пищевого сырья [2–5].

Внимание исследователей чаще всего сфокусировано на экстракции фенольных соединений в связи с их высокой и разнообразной фармакологической активностью, причем в подавляющем большинстве работ для повышения выхода и интенсификации процесса извлечения этой группы БАС применяется ультразвук [6–14].

Целью настоящей работы является информационно-аналитические исследования по применению ультразвука в экстракции биологически активных соединений из лекарственного растительного сырья.

Параметрами ультразвуковой экстракции, влияющими на выход полифенолов и антиоксидантную активность экстрактов, являются температура, частота и мощность ультразвука, а также время экстракции [3].

Критические параметры, оказывающие влияние на выход целевого продукта при воздействии ультразвука, приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1. Параметры, влияющие на ультразвуковую экстракцию, и обоснование их значимости

Table 1. Parameters influencing on ultrasonic extraction and substantiation of their significance

Параметр Parameter	Обоснование Confirmation
Интенсивность ультразвука Ultrasound intensity	Порог кавитации требует минимальной интенсивности The cavitation threshold requires a minimum intensity
Давление парообразования экстрагента Vaporization pressure of the extractant	Летучие растворители снижают необходимую энергию и тем самым порог кавитации; кавитация в растворителях с очень низким давлением пара затруднена Volatile solvents reduce the required energy and the cavitation threshold; cavitation in solvents with very low vapor pressure is difficult
Температура Temperature	Повышение температуры увеличивает кавитацию, потому что давление пара увеличивается, однако при повышении температуры выше 50 °C внутри полости достигается более низкое давление, что может привести к снижению сонохимических эффектов Temperature rising increases cavitation, because the vapor pressure increases, however, when the temperature rises above 50 °C, a lower pressure is reached inside the cavity, which can lead to a decrease in sonochemical effects
Содержание газа в жидкой фазе экстрагента Gas content in the liquid phase of the extractant	Газ, действующий как кавитационные ядра, снижает порог кавитации, при этом монократные газы, такие как He, Ar, Ne, более эффективны, чем двухатомные газы, например N ₂ , O ₂ , воздух, в усилении кавитации Gas, acting as cavitation nuclei, lowers the threshold of cavitation, while monoatomic gases such as He, Ar, Ne are more effective than diatomic gases, such as N ₂ , O ₂ , air, in enhancing cavitation
Давление Pressure	В общем случае, если внешнее давление увеличивается, наблюдается более низкий порог кавитации In general, if the external pressure increases, a lower cavitation threshold is observed

Влияние ультразвука на процесс экстракции не ограничивается увеличением выхода целевого продукта, ультразвук также оказывает антисептическое действие и увеличивает срок хранения водных экстрактов. Отмечено, что существенно понижаются количества микроорганизмов группы кишечной палочки, группы сальмонелл, группы стрептококков, а также плесеней и дрожжевых грибов [5]. Проявление этих эффектов напрямую зависит от параметров проведения процесса экстракции: мощности ультразвука, времени воздействия и температуры.

В литературе имеются сравнительные данные двух способов экстракции «зеленой химии», а именно с применением ультразвука и микроволнового из-

лучения на примере корней девясила (*Inula helenium* L.) [6]. Определяли выход БАС при использовании в качестве экстрагентов 70%-го метанола, этанола и воды. В экстрактах установлено наличие углеводов (сахаров, фруктоолигосахаридов и инулина), суммы фенольных соединений и флавоноидов. Водные экстракты, полученные методом ультразвуковой экстракции, показали наибольшее содержание инулина (38 г на 100 г массы высушенного растительного материала). Было установлено, что наивысшей антиоксидантной активностью обладает 70%-й этанольный экстракт, полученный в опыте с ультразвуком. Причина этого, вероятно, связана с высоким содержанием суммы фенольных соединений в 70%-м этанольном экстракте, полученным с применением ультразвука. Так, было зафиксировано, что в извлечении доминируют хлорогеновая кислота (1,84 мг/г) и флавоноиды (кверцетин, кемпферол и катехины). Ультразвуковая экстракция оценивалась как перспективный подход для извлечения суммы БАС из корней девясила по сравнению с микроволновым облучением.

Также были изучены методы экстракции с помощью воздействия микроволн и ультразвука для извлечения природных фенольных соединений из отходов цедры лайма [7]. Для прогнозирования оптимальных условий каждого параметра экстракции на основе данных по общему содержанию соединений фенольной природы, антиоксидантной активности и полувинны максимальной ингибирующей концентрации, использовалась методология поверхности отклика с трехуровневой и трехфакторной конструкцией Бокса – Бенкена. Результаты исследования показали, что оптимальное содержание суммы фенольных соединений для микроволновой экстракции было получено при концентрации этанола 55 %, мощности микроволн 140 Вт в течение 45 с, кратность экстракции составила 8 раз. Между тем наибольшая сумма фенольных соединений при ультразвуковой экстракции отмечена при концентрации этанола 55 %, амплитуде ультразвука 38 % и времени экстракции 4 мин. Ультразвуковая экстракция показала себя как более эффективный метод для суммарного извлечения фенольных соединений с высокой антиоксидантной активностью и экономией времени экстракции на 33 % по сравнению с микроволновой экстракцией. Следовательно, ультразвуковая экстракция более предпочтительна для извлечения фенольных соединений из отходов цедры лайма.

Экстракция фенольного комплекса была исследована на примере ядер и обезжиренной шелухи семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) с использованием ультразвуковой и микроволновой экстракции. Состав полученных извлечений был изучен методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-детектором с электроспрейной ионизацией (UHPLC-ESI-MS). Авторами было рассмотрено влияние таких параметров, как природа растворителя,

объем растворителя, температура и время. Было показано, что высокоэнергетические методы экстракции позволили снизить расход растворителя и сократить время процесса, а выходы экстракции анализируемых веществ были равны или в некоторой степени выше, чем при использовании традиционных методов. Общее содержание полифенолов в полученных образцах изучали методом Фолина – Чокольтеу (Folin – Ciocalteu method) и результаты представляли в мкг-эквивалентах галловой кислоты по отношению к массе (г) сухого экстракта. Ядра семян подсолнечника оказались более богатыми фенольными соединениями по сравнению со жмыхом, для которого применение физических методов практически не приводило к повышению эффективности экстракции. Антиоксидантную активность образцов определяли спектрофотометрическим методом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила-радикала с использованием бутилированного гидрокситолуола в качестве эталона. Среди фенольных соединений шелухи и ядер жмыха доминировали фенолкарбоновые кислоты, главным образом хлорогеновая, кофейная, коричневая, 4-гидроксibenзойная и *п*-кумаровая кислоты.

В литературе представлено большое количество однофакторных экспериментов ультразвуковой экстракции, которые подтвердили влияние температуры экстракции на выход полифенолов. Отмечено влияние температуры на содержание антоцианов, флавоноидов и общее содержание фенольных соединений в экстрактах кожуры *Nephelium lappaceum*, полученных с использованием ультразвуковой экстракции. Результаты показали, что выход фенольных соединений увеличивался за счет увеличения пористости материала, сольватации и массопереноса при повышении температуры экстракции [8]. При этом повышенная температура снижает поверхностное натяжение и вязкость экстрактов, что также повышает выход экстракции. Однако многие фенольные соединения легко гидролизуются и окисляются при высоких температурах, особенно при продолжительной экстракции. Было показано, что общее содержание фенольных соединений в экстрактах снижается при температурах, превышающих 60 °C, вследствие окислительной деградации БАС.

При увеличении мощности ультразвука с 50 до 150 Вт усиливаются кавитационные эффекты при извлечении полифенолов из цедры плодов *Nephelium lappaceum* и виноградных косточек [9]. Выход полифенолов из растертых чайных листьев возрастал на 16,6 % с увеличением мощности с 25 до 125 Вт [10]. Экстракция фенольных соединений листьев *Acer truncatum* повышалась на 9,5 % при возрастании мощности со 150 до 240 Вт [11].

Однако повышение эффективности экстракции при высокой мощности ультразвука может сопровождаться образованием гидроксильных радикалов, ко-

торые вызывают окисление фенольных соединений, особенно в случае использования в качестве экстрагента воды [12]. Таким образом, можно сделать вывод, что для снижения деградации полифенолов необходимо ограничивать использование высокой мощности ультразвука.

Помимо мощности ультразвука, влияние на выход полифенолов оказывает и частота ультразвука. Было показано, что частота ультразвука напрямую связана с составом полифенолов и флавоноидов в экстрактах [13]. Согласно некоторым исследованиям, увеличение частоты ультразвука в пределах мощности ультразвукового диапазона 20–100 кГц приводило к увеличению выхода полифенолов. В эксперименте было также показано, что низкие частоты усиливают акустическую кавитацию, что приводит к значительным физико-химическим изменениям в материалах. Общее содержание БАС фенольной природы и антиоксидантная активность экстрактов персика и тыквы имели самые высокие показатели при частоте 37 кГц [14].

Другим фактором, влияющим на выход фенольных соединений, при ультразвуковой экстракции является выбор экстрагента, который зависит от его свойств: полярности, температуры плавления, температуры кипения, плотности, удельного веса, сродства к целевому компоненту, а также влияния активности экстрагируемого соединения. Отмечено, что в ряде случаев экстрагент может реагировать с выделяемыми соединениями. Биохимические и физико-химические свойства экстрагентов, используемых для ультразвуковой экстракции, определяют природу экстракционной среды и взаимодействуют с обрабатываемым материалом и экстрагируемыми соединениями, что может влиять на стабильность полифенолов и эффективность процесса выделения БАС [15].

Отмечено, что для ультразвуковой экстракции могут применяться комплексные экстрагенты, состоящие как из органической, так и из водной фаз в различных соотношениях [16]. Органические растворители, такие как этанол, метанол, ацетон и изопропанол, смешанные с различными пропорциями воды, широко используются для извлечения антиоксидантных комплексов из растительных источников с использованием ультразвуковой экстракции.

В некоторых исследованиях экстрагенты подкисляют, чтобы предотвратить окисление фенольных соединений [17]. При этом соотношение органический растворитель:вода определяется сродством экстрагируемых полифенолов к растворителям, т. е. чем полярнее целевое соединение, тем больше воды в смеси растворителей.

Сравнение современных (ультразвуковая экстракция, СВЧ-экстракция и ускоренная экстракция) и традиционных (мацерация и в аппарате Сокслета) методов экстракции приводится на примере *Tanacetum*

parthenium (L.) Sch.Bip. [18]. Авторы определяли химический профиль экстрактов растения методом жидкостной хроматографии сверхвысокого давления – tandemной масс-спектрометрии (UHPLC-MS/MS). В экстрактах было установлено наличие шестидесяти различных фенольных соединений, относящихся к классам фенольных кислот, флавоноидных гликозидов и флавоноидных агликонов. Кроме того, 17 компонентов были определены количественно с использованием соответствующих стандартов, и было установлено, что современная экстракция способствует более высокому выходу фенольных соединений в сравнении со всеми изученными традиционными методами. Оценка антиоксидантной активности экстрактов проводилась *in vitro* с помощью пяти стандартных методик. Антиоксидантная активность преобладала в экстрактах, полученных современными методами, что связано с высоким содержанием галловой кислоты (0,27 мг/г экстракта) и флавоноидов в пересчете на рутин (0,52 мг/г экстракта). Экстракты *Tanacetum parthenium* также показали значительную ингибирующую активность α -глюкозидазы (1,63–1,67 ммоль эквивалента акарбозы / г экстракта) и умеренную ингибирующую активность в отношении α -амилазы (0,51–0,56 ммоль/г экстракта). Также была показана высокая активность экстрактов в отношении холинэстераз и тирозиназ. Параметры ультразвуковой экстракции, используемые авторами, следующие: экстрагент – 96%-й этанол, соотношение сырья и экстрагента 1:20; экстракция проводилась в ультразвуковой ванне в течении 1 часа при 30 °С. Отмечено, что извлечения *Tanacetum parthenium*, полученные таким способом, могут рассматриваться в качестве компонентов новых лекарственных препаратов.

Существенный объем информации по применению ультразвуковой экстракции представлен в патентных документах, опубликованных как в России, так и за ее пределами.

Так, в патенте М.Г. Сульмана [19] предложен способ экстракции из сухого растительного сырья, в котором авторы зафиксировали параметры проведения процесса: экстрагент этанол, частота ультразвука 22 кГц, интенсивность ультразвукового воздействия от 12 до 70 Вт/см², время воздействия от 180 до 420 с. Объектом исследования были: листья и корни женьшеня, цветки и плоды боярышника, трава зверобоя и трава пустырника. Отмечено, что данные условия повышают выход полисахаридов в 1,5–2 раза по сравнению с экстракцией без ультразвука. Однако не ясно, может ли ультразвук повлиять на растворимость полисахаридов в крепких спиртах, так как авторы не указывают изучаемый диапазон концентраций спирта.

Известен также способ получения водорастворимого экстракта из растительного сырья с применением ультразвуковой экстракции, отличающийся тем,

что измельчение и экстракцию осуществляют в диапазоне частот $22 \pm 1,65$ кГц и интенсивности ультразвука от 4 до 10 Вт/см² [20], в одном реакторе с последующим отделением жидкого экстракта от балластных веществ центрифугированием.

Также интерес представляет способ выделения пектиновых веществ в нативном состоянии из плодовых оболочек шиповника [21]. Процесс экстракции включает следующие стадии: предварительное замачивание измельченных (размер частиц 2,0 мм) плодовых оболочек шиповника водой в течение одного часа при температуре 20 °С; экстрагирование под действием ультразвука частотой 22 кГц, мощностью 20 Вт при плотности энергии 0,2 Вт/см³ в течение 10 минут. Температуру в процессе ультразвуковой экстракции не контролировали.

Отдельный интерес представляет ультразвуковая экстракция биологически активных веществ сжиженными газами [22]. Сконструирована специальная установка для экстракции биологического сырья сжиженными газами, которая содержит замкнутый контур, включающий испаритель, ресивер, конденсатор, экстрактор, снабженный системой подачи и вывода сырья, сборник экстракта, средства для подпитки экстрагента, измерительную и запорно-регулирующую арматуру. При этом на наружной поверхности цилиндра экстрактора размещены электронагреватель, ультразвуковые излучатели для интенсификации экстрагирования и оптроны для контроля уровня сырья в рабочем объеме экстрактора. Недостатком такой реализации применения ультразвука является специфика экстрагента, в частности применение углекислого газа позволяет извлекать больше жирорастворимых веществ (неполярных агликонов различных классов) и практически не извлекает гидрофильную фракцию. В этом случае извлечение не соответствует требованиям фармакопейных статей к настойкам и экстрактам ЛРС.

В литературе описаны примеры извлечения комплекса БАС методами многократной двухфазной экстракции в комплексе с ультразвуковой экстракцией. Отмечено, что биохимическая активность исследованных экстрактов БАС достигает максимального значения при УЗ обработке в течение 7–10 мин. При более длительной УЗ обработке происходит уменьшение количества антиоксидантов в экстракте возможно из-за частичной деструкции БАС. Использование ультразвука приводит к увеличению содержания суммы антиоксидантов в растительных экстрактах и тем самым повышает эффективность процесса экстракции. Полученные таким образом экстракты стабильны и сохраняют свои антиокислительные свойства в течение длительного времени (более 60 суток) [23].

Обобщенные данные по применению ультразвука в экстракции БАС из растительного сырья представлены в таблице 2 [2, 23–66].

Таблица 2. Области применения и особенности ультразвуковой экстракции БАС из растительного сырья
Table 2. Fields of application and features of BAS ultrasonic extraction from plant raw materials

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Полифенольные соединения с антиоксидантной активностью Polyphenolic compounds with antioxidant activity	Кора дуба (<i>Cortex Quercus</i>), почки березы (<i>Gemmae Betulae</i>) Oak bark (<i>Cortex Quercus</i>), birch buds (<i>Gemmae Betulae</i>)	Многократная двухфазная экстракция с ультразвуковой обработкой (с частотами $2 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$) мощностью 80 Вт Multiple two-phase extraction with ultrasonic processing (with frequencies $2 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$) with a power of 80 W	Повышение антиоксидантной активности экстрактов; сохранение стабильности в течение 60 суток Increasing the antioxidant activity of extracts; maintaining stability for 60 days	[23]
Флавоноиды Flavonoids	Плоды боярышника (<i>Fructus Crataegi</i>) Hawthorn fruit (<i>Fructus Crataegi</i>)	Измучатель цилиндрический волновод Cylindrical waveguide emitter	Улучшение экстракции на 23,3 % по сравнению с перколяцией Improvement in extraction over percolation on 23.3 %	[24]
Гинсенозиды Ginsenosides	Корень женьшеня (<i>Panax ginseng radices</i>) Ginseng Root (<i>Panax ginseng radices</i>)	Измучатель цилиндрический волновод Cylindrical waveguide emitter	Выход гинсенозидов составил от 80 до 110 %. Показано отсутствие разрушения структуры данных веществ при проведении экстракции The yield of ginsenosides was from 80 to 110 %. The absence of destruction of the structure of these substances during extraction was shown	[25]
Флавоноиды Flavonoids	Плоды черники (<i>Fructus Myrtilli</i>) Blueberry fruit (<i>Fructus Myrtilli</i>)	Измучатель цилиндрический волновод Cylindrical waveguide emitter	Эффективность экстракции повышалась ~ в 1,2 раза Extraction efficiency increased ~ in 1.2 times	[26]
Фенолы, флавоноиды Phenols, flavonoids	Косточки винограда (<i>Semina Vitidis iniferae</i>) Grape seeds (<i>Semina Vitidis iniferae</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Эффективность экстракции повышалась ~ в 1,2 раза Extraction efficiency increased ~ in 1.2 times	[27]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Фенолы, флавоноиды Phenols, flavonoids	Плоды рябины черноплодной (<i>Fructus Aroniae melanocarpa</i>) измельченные Chokeberry fruits (<i>Fructus Aroniae melanocarpa</i>), minced	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Масса навески 2 г, экстрагент спирт этиловый 98 %, разбавленный водой в соотношении 1:1; время экстракции 2 ч, частота ультразвука 35 кГц, температура $35 \pm 1^\circ\text{C}$ Raw material mass is 2 g, extractant is ethyl alcohol with concentration of 98 %, diluted with water in a ratio of 1:1; time of extraction is 2 h, ultrasonic frequency is 35 kHz, temperature is $35 \pm 1^\circ\text{C}$.	Применение ультразвуковой экстракции приводит к увеличению антиоксидантной активности экстракта. Увеличение эффективности экстракции ~ в 1,5 раза The use of ultrasonic extraction leads to an increase in the antioxidant activity of the extract. Extraction efficiency increased ~ in 1.5 times [28]
Флавоноиды Flavonoids	Трава гречихи (<i>herba Fagopyri esculenti</i>) Buckwheat herb (<i>Herba Fagopyri esculenti</i>)	Излучатель цилиндрический волновод Cylindrical waveguide emitter	Масса навески 1 г, размер частиц 1–2 мм, экстрагент спирт этиловый, время экстракции 120–150 с, частота ультразвука 22 кГц Raw material mass is 1 g, grinded to a particle size of 1–2 mm, extractant is ethyl alcohol, extraction time is 120–150 s, ultrasonic frequency is 22 kHz	Выход флавоноидов повышается в 1,5–3 раза Flavonoid yield increases in 1.5–3 times [29]
Флавоноиды, экстрактивные вещества Flavonoids, extractives	Семена пажитника сеного (<i>Semina Trigonellae foenum</i>) Fenugreek seeds (<i>Semina Trigonellae foenum</i>)	Излучатель цилиндрический волновод Cylindrical waveguide emitter	Навеска сырья 10 г, экстрагент вода очищенная или растворы спирта этилового с концентрацией 40–90 %, соотношение сырья:экстрагент (1:10), частота ультразвука 17–22 кГц, время 30–60 мин Raw material mass is 10 g, extractant is purified water or ethyl alcohol solutions with a concentration of 40–90 %, the ratio of raw materials:extractant is 1:10, ultrasonic frequency is 17–22 kHz, extraction time is 30–60 minutes	Ультразвуковая экстракция при воздействии в течение 60 мин позволяет получить большее количество экстрактивных веществ по сравнению с динамической мацерацией Ultrasonic extraction with exposure for 60 minutes allows to isolate a larger amount of extractives in comparison with dynamic maceration [30]
Флавоноиды, экстрактивные вещества Flavonoids, extractives	Семена пажитника сеного (<i>Semina Trigonellae foenum</i>) Fenugreek seeds (<i>Semina Trigonellae foenum</i>)	Излучатель цилиндрический волновод Cylindrical waveguide emitter	Навеска сырья 10 г, экстрагент вода очищенная или растворы спирта этилового с концентрацией 40–90 %, соотношение сырья:экстрагент (1:20), частота ультразвука 17–22 кГц, время экстракции 30–60 мин Raw material mass is 10 g, extractant is a purified water or ethyl alcohol solutions with a concentration of 40–90 %, the ratio of raw materials:extractant is 1:20, ultrasonic frequency is 17–22 kHz, extraction time is 30–60 minutes	Увеличение выхода экстрактивных веществ Increase in the yield of extractive substances [31]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Флаволигнаны Flavolignans	Плоды расторопши пятнистой (<i>Fructus Silybi mariani</i>) Milk thistle fruit (<i>Fructus Silybi mariani</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Масса навески 10 г, измельчение 0,7–1,0 мм, экстрагент спирт этиловый 70 %, частота ультразвука 20–40 кГц, мощность 280 Вт, температура 25 °С, время экстракции 5–15 мин Raw material mass is 10 g, grinded to a particle size of 0.7–1.0 mm, extractant is ethyl alcohol with a concentration of 70 %, ultrasonic frequency is 20–40 kHz, power is 280 W, temperature 25 °C, extraction time is 5–15 minutes	Обработка измельченных плодов расторопши пятнистой ультразвуком на стадии намачивания, практически вдвое повышает выход флаволигнанового комплекса из лекарственного растительного сырья The treatment of grinded <i>Silybi mariani fructus</i> with ultrasound at the stage of moistening practically doubles the yield of the flavolignan complex from herbal raw material [32]
Капсаицин Capsaicin	Плоды острого перца (<i>Fructus Capsicum annuum</i>) Hot Pepper Fruit (<i>Fructus Capsicum annuum</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Измельчение 1–2 мм, экстрагент спирт этиловый 94 %, частота ультразвука 35 кГц, мощность 128 Вт, соотношение сырье : экстрагент (1:20–1:50), время экстракции 30 мин. Grinding of raw material is to a particle size of 1–2 mm, extractant is ethyl alcohol with a concentration of 94 %, ultrasonic frequency is 35 kHz, power is 128 W, ratio of raw material : extractant is 1:20–1:50, extraction time is 30 min.	Сокращение времени экстракции в 2 раза, выход капсаицина более 99 % Reduction of the extraction time by 2 times, the capsaicin yield is more than 99 % [33]
Авенантрамиды Avenanthramides	Плоды овса посевного (<i>Fructus Avena sativa</i>) Sowing oat fruit (<i>Fructus Avena sativa</i>)	Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна-М» Ultrasonic technological device "Volna-M" series	Экстрагенты: вода и 70%-й спирт этиловый; обработка ультразвуком разной мощности (120 Вт, 240 Вт) в течение 1, 3 и 5 мин; частота механических колебаний – 22 ± 1,65 кГц; интенсивность ультразвукового воздействия – не менее 10 Вт/см ² ; диаметр излучающей поверхности – 25 мм Extractants: water and ethyl alcohol with a concentration of 70 %; processing of ultrasound radiation of different power (120 W; 240 W) during 1, 3 and 5 minutes; mechanical vibration frequency is 22 ± 1.65 kHz; intensity of ultrasonic action – not less than 10 W/cm ² ; diameter of the radiating surface is 25 mm	Увеличение выхода экстрактивных веществ и повышение антиоксидантной активности Increased the yield of extractive substances and increased the anti-oxidant activity of extract [34]
Флавоноиды Flavonoids	Цветки ромашки аптечной (<i>Flores Chamomilla recutita</i>) Chamomile flowers (<i>flores Chamomilla recutita</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Частота ультразвука 35 кГц, мощность 180 Вт, измельчение сырья до размера частиц 0,25–2,0 мм, соотношение сырье:экстрагент от 1:4 до 1:30 Ultrasonic frequency is 35 kHz, power is 180 W, grinding of raw materials to a particle size of 0.25–2.0 mm, the ratio of raw materials:extractant from 1:4 to 1:30	Повышение выхода суммы флавоноидов до 97 % (на 35–45 %), эфирного масла – до 81 % Increasing the yield of the sum of flavonoids up to 97 % (by 35–45 %), essential oil – up to 81 % [35]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Фенолкарбоновые кислоты, флавоноиды Phenol carboxylic acids, flavonoids	Трава зверобоя продырявленного (Herba Hyperici perforati) St. John's wort (Herba Hyperici perforati)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	При данных условиях ультразвук не повышает выход биологически активных соединений из данного лекарственного растительного сырья Under these conditions, ultrasound does not increase the yield of biologically active substances from this herbal raw material	[36]
Дубильные вещества, флавоноиды Tannins, flavonoids	Трава василька синего (Herba Centaureae cyanus) Blue cornflower herb (Herba Centaureae cyanus)	Экспериментальная ультразвуковая установка с погружным излучателем «грибового» типа, работающий на частоте ультразвука 22–23 кГц с поддержанием температуры на уровне Experimental ultrasonic installation with a submersible «fun-gal» type transducer, operating at an ultrasound frequency of 22–23 kHz with maintaining the temperature at a constant level	Повышение экстракции дубильных веществ и флавоноидов в среднем в 1,5 раза по сравнению с контрольным опытом An increase in the extraction of tannins and flavonoids by an average of 1.5 times compared with the control experiment	[37]
Фенольные соединения Phenolic compounds	Семена персеи американской (Semina Persea americana) American Perseus seeds (Semina Persea americana)	Ультразвуковая ванна, 40 кГц, 130 Вт Ultrasonic bath, 40 kHz, 130 W	Увеличение выхода суммы фенольных соединений, повышение антиоксидантной активности экстрактов Increasing the yield of the sum of phenolic compounds, increasing the antioxidant activity of extracts	[39]
Фенольные соединения, в т. ч. галловая кислота Phenolic compounds, incl. gallic acid	Листья филлантуса горького (Folia Phyllanthus amari) Leaves of phyllanthus bitter (Folia Phyllanthus amari)	Погружной излучатель (13 мм диаметром), 500 Вт Immersion emitter (13 mm diameter), 500 W	Повышение экстракции фенольных соединений при 226 Вт/см² в течение 5 мин, в том числе галловой кислоты в течение 3 мин Increased extraction of phenolic compounds at 226 W/cm² for 5 minutes, including gallic acid after 3 minutes	[40]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Фенольные соединения Phenolic compounds	Плоды оливы европейской (<i>Fructus Olea europaea</i>) European olives (<i>Fructus Olea europaea</i>)	Погружной излучатель (2,2 см диаметр), 400 Вт Submersible emitter (2.2 cm dia.), 400 W	Увеличение выхода фенольных соединений, в том числе олеуропеина и гидроксицитрозола Increased yield of phenolic compounds, including oleuropein and hydroxytyrosol	[42]
Фенольные соединения Phenolic compounds	Околоплодник гранатника сорта Малас (<i>Pericarpium externum Malum punicum</i>) Pericarp pomegranate variety Malas (<i>pericarpium externum Malum punicum</i>)	Погружной излучатель, (площадь излучателя 1,53 см ²), интенсивность до 105 Вт/см ² , 24 кГц Submersible emitter, (emitter area 1.53 cm ²), intensity up to 105 W/cm ² , 24 kHz	Повышение антиоксидантной активности экстракта Increasing the antioxidant activity of the extract	[43]
γ-гидрокси-5,6,7,4'-тетраметоксифлавоны и синенсетин γ-hydroxy-5,6,7,4'-tetra-methoxyflavone and sinensetin	Листья ортосифона тычиночного (<i>Folia Orthosiphoni staminei</i>) Orthosiphon staminate leaves (<i>Folia Orthosiphoni staminei</i>)	Погружной излучатель (25 мм диаметр), 20 кГц, 500 Вт Submersible emitter (25 mm diameter), 20 kHz, 500 W	Увеличение выхода биологически активных веществ в сравнении с экстракцией в поле микроволн Increased yield of biologically active substances in comparison with extraction in a microwave field	[44]
Экстрактивные вещества Extractive substances	Листья лука медвежьего (<i>Folia Allium ursinum</i>) Bear onion leaves (<i>folia Allium ursinum</i>)	Ультразвуковая ванна, 40 кГц Ultrasonic bath, 40 kHz	Увеличение выхода суммы фенолов, флавоноидов и антиоксидантной активности Increasing the yield of flavonoids, phenols and antioxidant activity	[45]
Моно- и олигосахариды Mono- and oligosaccharides	Цветки ромашки аптечной (<i>Flores Matricaria chamomilla</i>) Chamomile flowers (<i>flores Matricaria chamomilla</i>)	Ультразвуковая ванна, 40 мин Ultrasonic bath, 40 min	Увеличение выхода сахаров Increasing of sugar yield	[46]

Продолжение таблицы 2

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Полифенолы Polyphenols	Плоды рамбутана (<i>Fructus Nephelium lappaceum</i>), семена винограда (<i>Semen Vitis vinifera</i>) Rambutan Fruit (<i>Fructus Nephelium lappaceum</i>), Grape Seed (<i>Semen Vitis vinifera</i>)	Ультразвук. Частота 20 кГц – 1 МГц; подводимая мощность < 100 мВт/см ² ; температура 20–50 °С Frequency 20 kHz – 1 MHz; input power < 100 mW/cm ² ; temperature 20–50 °С Мощность ультразвука 50–150 Вт, частота 20–100 кГц, экстрагент спирт метиловый, спирт этиловый, ацетон, время воздействия 30 мин Ultrasound power is 50–150 W, frequency is 20–100 kHz, extractants are methyl alcohol, ethyl alcohol, acetone, exposure time during 30 min	Ультразвуковая экстракция не только способствует увеличению выхода полифенолов при экстракции, но также лучше сохраняет и увеличивает биологическую активность экстрактов полифенолов по сравнению с традиционной мацерацией и экстракцией Сокслета. Ultrasound extraction not only helps to increase the yield of polyphenols during extraction, but also preserves and increases the biological activity of polyphenol extracts better than traditional maceration and extraction in Soxhlet device.	[47]
Полифенолы, гликозиды и агликаны Polyphenols, glycosides and aglycones	Трава бодяка разнолистного (<i>Herba Cirsium heterophyllum</i>) Herba Cirsium heterophyllum	Ультразвуковая ванна Ultrasoundic bath Масса сухого образца 2 г (размер частиц 1 мм), экстрагент – спирт метиловый или вода объемом 50 мл, время экстракции 1 час, температура 30 °С Raw material mass is 2 g drinded to a particle size of 1 mm, extractant is methyl alcohol or water with a volume of 50 ml, time of extraction is 1 hour, temperature is 30 °С	Ультразвуковой экстракт показал высокую активность в ингибировании бутрилхолинэстеразы и тирозиназы, но низкую по отношению к амилазе и α-глюкозидазе Ultrasoundic extract showed high activity in inhibiting butyrylcholinesterase and tyrosinase, but low activity in relation to amylase and α-glucosidase	[48]
Полифенольные соединения Polyphenolic compounds	Цветки пижмы девичьей (<i>Flores Tanacetii parthenium</i>) Flowers of maiden tansy (<i>Flores Tanacetii parthenium</i>)	Ультразвуковая ванна (для сравнения экстракция в присутствии ацетилхолин эстеразы) Ultrasoundic bath (for comparison, extraction in the presence of acetylcholine esterase) Масса образца 1 г, температура 30 °С, экстрагент – спирт этиловый. Raw material mass is 1 g, temperature of extraction is 30 °С, extractant is ethyl alcohol	Получение экстрактов с повышенной антиоксидантной активностью и высоким содержанием суммы фенолов в пересчете на галловую кислоту и флавоноидов в пересчете на рутин; значительная ингибирующая УЗ экстрактов на активность альфа-глюкозидазы [и умеренную ингибирующую активность против α-амилазы (0,51–0,56 ммоль САЕ/г экстракта)] Obtaining extracts with increased antioxidant activity and a high content of the sum of phenols in terms of gallic acid and flavonoids in terms of rutin; significant inhibitory ultrasound extracts on the activity of alpha-glucosidase and moderate inhibitory activity against α-amylase (0.51–0.56 mmol CAE/g extract)	[49]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Полифенольные соединения Polyphenolic compounds	Семена подсолнечника (<i>Semina Helianthus anni</i>) Sunflower seeds (<i>Semina Helianthus ann</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Увеличение антиоксидантной активности экстракта Increasing of antioxidant activity of the extract	[50]
Полисахариды Polysaccharides	Листья мяты канадской (<i>Folia Menth canadensis</i>) Canadian mint leaves (<i>Folia Menth canadensis</i>)	Экстракция ультразвуком (погружной щуп) под высоким давлением Ultrasonic extraction (immersion probe) under high pressure	Увеличение антиоксидантной активности экстракта Increasing of antioxidant activity of the extract	[51]
Полифенольные соединения (гликозиды и агликоны) Polyphenolic compounds (glycosides and aglycones)	Цветки астры ланцетной (<i>Flores Aster lanceolati</i>) Aster flowers lanceolate (<i>Flores Aster lanceolati</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Получение экстрактов с более эффективным антибактериальным и антипролиферативным действием Obtaining extracts with more effective antibacterial and anti-proliferative action	[52]
Экстрактивные вещества Extractive substances	Семена льна (<i>Semina Lini</i>) Flax Seeds (<i>Semina Lini</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Экстракт, полученный при сочетании ультразвука и воздействия ферментов оказался практически идентичный по количеству экстрактивных веществ в сравнении с экстрактом, полученным при ферментативном гидролизе. Таким образом, ферментативный гидролиз более эффективен по сравнению с УЗ воздействием для экстракции БАС из семян льна The extract obtained by the combination of ultrasound and the action of enzymes turned out to be practically identical in the amount of extractive substances in comparison with the extract obtained by enzymatic hydrolysis. Thus, enzymatic hydrolysis is more effective in comparison with ultrasound treatment for the extraction of BAS from flax seeds	[53]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Полифенольные соединения Polyphenolic compounds	Шрот цедры лайма (<i>Citrus aurantiifolia</i>) Lime peel meal (<i>Citrus aurantiifolia</i>)	Погружной излучатель, диаметр 3 мм для малых объемов Immersion radiator, diameter 3 mm for small volumes.	Увеличение выхода полифенольных соединений и антиоксидантной активности Increasing the yield of polyphenolic compounds and antioxidant activity	[54]
Сесквитерпен α -бисаболол Sesquiterpene α -bisabolol	Кора кандеи (<i>Cortex Eremanthi erythrorappi</i>) Kandea bark (<i>Cortex Eremanthi erythrorappi</i>)	Погружной титановый излучатель, 13 мм, ячейка 250 мл в термостатируемой ванне Immersion titanium emitter, 13 mm, 250 ml cell in thermostatic bath	Сокращение времени экстракции в 2,5 раза и увеличение выхода α -бисаболола по сравнению с использованием аппарата Сокслета Reduction of the extraction time by 2.5 times and an increase in the yield of α -bisabolol in comparison with extraction, using Soxhlet device	[55]
Экстрактивные вещества Extractive substances	Окопник гранатника (<i>Pericarpium externum Malum Punicum</i>), шрот гранатника (<i>Punica granatum</i>) Pomegranate pericarp (<i>pericarpium externum Malum Punicum</i>), pomegranate meal (<i>Punica granatum</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Получение экстракта с повышенной противогрибковой активностью в отношении <i>Aspergillus niger</i> Obtaining an extract with increased antifungal activity against <i>Aspergillus niger</i>	[56]
Экстрактивные вещества Extractive substances	Цветки ромашки пахучей (<i>Flores Anthemis cotula</i>) Chamomile flowers (<i>Flores Anthemis cotula</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Увеличение выхода сесквитерпенов и полифенолов Increasing the yield of sesquiterpenes and polyphenols	[57]
Фенольные соединения Phenolic compounds	Кора березы (<i>Cortex Betula</i>) Birch bark (<i>Cortex Betula</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Увеличение выхода фенольных соединений Increased yield of phenolic compounds	[58]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field		Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Полисахариды (инулин и производные) Polysaccharides (inulin and derivatives)	Плоды пастернака посевного (<i>Fructus Pastinacae sativae</i>) Parsnips (<i>Fructus Pastinacae sativae</i>)	Погружной титановый излучатель Submersible titanium emitter	Образец: измельченное, высушенное сырье. Ультразвук: амплитуда 70 %, время экстракции 5, 10 и 15 мин, мощность 150 Вт, частота 40 кГц Sample: grinded dried raw material. Ultrasound: amplitude is 70 %, extraction time is 5, 10 and 15 minutes, power is 150 W, frequency is 40 kHz	Увеличение выхода инулина и полифенолов в экстракте, полученном при ферментативной обработке в сочетании с ферментативным гидролизом Increasing in the yield of inulin and polyphenols in the extract obtained by enzymatic treatment in combination with enzymatic hydrolysis	[59]
	Листья шалфея обыкновенного (<i>Folia Salviae officinalis</i>), корневища с корнями валерианы лекарственной (<i>Rhizomata cum radicibus Valerianae</i>) Leaves of common sage (<i>Folia Salviae officinalis</i>), rhizomes with roots of Valerian officinalis (<i>Rhizomata cum radicibus Valerianae</i>)	Погружной излучатель Immersion emitter	Образец: измельченное высушенное сырье; экстрагент – 60%-й спирт этиловый. Соотношение сырье:экстрагент (1:5; 1:6). Ультразвук: мощность 600 Вт, частота 20 кГц в импульсном и непрерывном режимах. Время экстракции от 1 ч до 4 дней Sample: grinded dried raw materials; extractant is ethyl alcohol with concentration of 60 %. The ratio of raw materials: extractant is 1:5; 1:6. Ultrasound: power is 600 W, frequency is 20 kHz in pulsed and continuous modes. The extraction time is from 1 hour to 4 days	Обработка ультразвуком в непрерывном режиме в течение длительного времени приводит к разложению БАС. Кратковременная импульсная обработка приводит к увеличению выхода компонентов эфирного масла валерианы и шалфея, причем для листьев шалфея ультразвуковая экстракция более эффективна Continuous sonication for a long time leads to the destruction of BAS. Short-term pulse treatment leads to an increase in the yield of the essential oil components of <i>Valeriana officinalis</i> and <i>Salvia officinalis</i> , and ultrasonic extraction is more effective for <i>Salvia officinalis</i>	[60]
Полисахариды Polysaccharides	Корневища с корнями валерианы лекарственной (<i>Rhizomata cum radicibus Valerianae officinalis</i>) Rhizomes with roots of Valerian officinalis (<i>Rhizomata cum radicibus Valerianae officinalis</i>)	Погружной излучатель Immersion emitter	Образец: измельченное до размера частиц 2–3 мм высушенное сырье; экстрагент – 60%-й спирт этиловый. Соотношение сырье:экстрагент (1:6; 7). Ультразвук: мощность 600 Вт, частота 20 кГц. Время экстракции по 2 часа в день; продолжительность 3 дня. Sample: dried raw material grinded to a particle size of 2–3 mm; extractant is ethyl alcohol with concentration of 60 %. Raw material: extractant ratio is 1:6; 7. Ultrasound: power is 600 W, frequency is 20 kHz. Extraction time 2 hours every day; duration 3 days	Увеличение выхода пектиновых веществ, ксилана, маннана и глюкона по сравнению с экстракцией горячей водой. Выход суммарной полисахаридов при ультразвуковой обработке был ниже, чем при экстракции горячей водой Increasing the yield of pectin, xylan, mannan and glucan compared to hot water extraction. The yield of the sum of polysaccharides during ultrasonic treatment was lower than during extraction with hot water	[61]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field	Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Полисахариды Polysaccharides	Побеги древовидного пиона (<i>Cornus Paconia arborescens</i>) Shoots of tree peony (<i>Cornus Paconia arborescens</i>)	Ультразвуковая ванна Ultrasonic bath	Выход полисахаридов составил 14,14 ± 0,44 % The polysaccharide yield was 14,14 ± 0,44 %	[62]
Жирные кислоты, фенольные соединения Fatty acids, phenolic compounds	Семена восковой тыквы (<i>Semina Benincasa hispida</i>) Seeds of wax gourd (<i>Semina Benincasa hispida</i>)	Погружной титановый излучатель Submersible titanium emitter	Наилучшие результаты получены при использовании ультразвука мощностью 65 % от максимальной в течение 36 мин при 52 °С. Ультразвук не увеличивал суммарный выход экстракта, однако повышал выход фенолов, жирных кислот и антиоксидантную активность экстракта The best results were obtained when using ultrasound with a power of 65 % of the maximum for 36 minutes at 52 °C. Ultrasound did not increase the total yield of the extract, but increase the yield of phenols, fatty acids and the antioxidant activity of the extract	[63]
Сапонины Saponins	Листья квиллайи мыльной (<i>Folia Quillaja saponaria Molina</i>) Quillaya leaves soap (<i>Folia Quillaja saponaria Molina</i>)	Погружной титановый излучатель Submersible titanium emitter	Ультразвук улучшает экстракцию сапонинов. Статистически значимыми переменными, которые влияют на процесс ультразвуковой экстракции, являясь: измельченность (opt 0,2 мм), соотношение сырье:экстракт (opt 1:15) и время обработки (opt 30 мин) Ultrasound improves the extraction of saponins. The statistically significant variables that affect the ultrasonic extraction process are: fineness (opt 0.2 mm), the ratio of raw materials:extractant (opt 1:15) and processing time (opt 30 min)	[64]

Биологически активные соединения Biologically active compounds	Исходный материал Raw material	Условия экстракции в поле ультразвука Extraction conditions in the ultrasound field		Достижимый результат Achieved result	Источник A Source
Эфирное масло Essential oils	Листья мяты колосистой (<i>Folia Menta spicata</i>) Mint leaves (<i>Folia Menta spicata</i>)	Погружной излучатель Immersion emitter	Образец: высушенные, измельченные листья мяты, экстрагент – спирт этиловый; соотношение сырье:экстрагент (1:24). Ультразвук: мощность 380 Вт, время экстракции 51 мин Sample: dried grinded mint leaves, extractant is ethyl alcohol; the ratio of raw material:extractant is 1:24. Ultrasound: power is 380 W, extraction time is 51 min	Выход карвона и лимонена составил 19,958 и 5,957 мг/г соответственно The yield of carvone and limonene was 19.958 and 5.957 mg/g, respectively [65]	
Экстрактивные вещества Extractive substances	Семена томата Tomato seeds	Цилиндрическая ультразвуковая ванна Cylindrical ultrasonic cleaner	Образец: измельченные семена томатов, экстрагент – вода дистиллированная, нагретая до 30–35 °С, соотношение сырье:экстрагент (1:3). Ультразвук: частота 17–44 кГц, время экстракции 60 минут Sample: crushed tomato seeds, extractant: distilled water heated to 30–35 °C, the ratio of raw materials:extractant (1:3). Ultrasound: frequency 17–44 kHz, extraction time 60 minutes	Продолжительность экстракции БАВ сокращается более чем в 8–9 раз, температура снижается с 90 до 25–30 °С. При продолжительности обработки более 60 минут наблюдается снижение массы БАВ The duration of the extraction of biologically active substances is reduced by more than 8–9 times, the temperature decreases from 90 to 25–30 °C. With a treatment duration of more than 60 minutes, a decrease in the mass of biologically active substances is observed [66]	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для увеличения выхода биологически активных соединений из растительного сырья среди различных физических методов интенсификации экстракции доминирует применение ультразвука.
2. Ультразвуковую экстракцию можно разделить на несколько основных типов: экстракция в ультразвуковой ванне, применение погружных ультразвуковых излучателей, а также совмещение ультразвуковой экстракции с дополнительными видами воздействия. Из анализа литературных данных следует, что большинство авторов преследуют цель повысить экстракцию фенольных соединений и получить экстракты с высокой антиоксидантной активностью. Однако имеются данные по увеличению выхода моно- и полисахаридов, эфирного масла и индивидуальных биологически активных веществ. Также экстракты, полученные с применением ультразвука, способны ингибировать активность ряда гидролитических ферментов, а также они сохраняют свою стабильность более длительное время, в том числе и за счет снижения общей микробной обсемененности растительных объектов.
3. Анализ литературы показал, что варьируя параметрами ультразвуковой экстракции, такими как частота, мощность и амплитуда ультразвукового воздействия, характер растворителя, время экстракции, становится возможным выделять те или иные компоненты и получать экстракты с улучшенными антиоксидантными и другими свойствами. Таким образом, систематические исследования по влиянию различных параметров ультразвука могут явиться предпосылкой для фракционного выделения отдельных групп биологически активных веществ. Однако для каждого индивидуального случая необходимо подбирать параметры ультразвукового воздействия, чтобы добиться необходимого эффекта.
4. Мощность ультразвука и характер экстрагента могут влиять на протекание окислительных процессов в экстракте, причем такие явления характерны не только для слишком высоких мощностей, но и для низких.
5. Ультразвук может значительно повысить выход биологически активных соединений даже при водной экстракции свежего сырья. При этом во всех проанализированных источниках отмечено, что применяемые параметры ультразвуковой экстракции обеспечивают сохранность анализируемых биологически активных веществ, либо путем проведения детального ВЭЖХ-анализа, либо путем доказательства данного факта анализом суммы экстрагируемых соединений или антиоксидантной активности экстракта.
6. Отличительной особенностью ультразвуковой экстракции является возможность широкого выбора экстрагентов: как органических растворите-

лей (этанол, метанол, этилацетат, ацетон), так и воды, а также смесей различных экстрагентов.

7. Ультразвуковая экстракция применяется не только для интенсификации традиционных технологий получения настоек и экстрактов, но и в сочетании с такими эффективными и современными методами, как сверхкритическая флюидная и двухфазная экстракции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maroun R.G., Rajha H.N., Darra N.E., Kantar S.E., Chacar S., Debs E., Vorobiev E., Louka N. Emerging technologies for the extraction of polyphenols from natural sources. In: Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications. Amsterdam: Elsevier; 2018. P. 265–293.
2. Zoumpoulakis P., Sinanoglou V. J., Siapi E., Heropoulos G., Proestos C. Evaluating Modern Techniques for the Extraction and Characterisation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds Phenolics. *Antioxidants*. 2017;6(3):46. DOI: 10.3390/antiox6030046.
3. Dzah C. S., Duan Y., Zhang H., Wen C., Zhang J., Chen G., Ma H. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*. 2020;35:100547. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100547.
4. Lavilla I., Bendicho C. Fundamentals of Ultrasound-Assisted Extraction. In: Water Extraction of Bioactive Compounds. Amsterdam: Elsevier; 2017. P. 291–316. DOI: 10.1016/B978-0-12-809380-1.00011-5.
5. Madhu B., Srinivas M. S., Srinivas G., Jain S. K. Ultrasonic Technology and Its Applications in Quality Control, Processing and Preservation of Food: A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2019;32(5):1–11. DOI: 10.9734/CJAST/2019/46909.
6. Petkova N., Ivanov I., Vrancheva R., Denev P., Pavlov A. Ultrasound and Microwave-Assisted Extraction of Elecampane (*Inula helenium*) Roots. *Natural Product Communications*. 2017;12(2):1934578X1701200. DOI: 10.1177/1934578X1701200207.
7. Rodsamran P., Sothornvit R. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. *Food Bioscience*. 2019;28:66–73. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.01.017.
8. Maran J. P., Manikandan S., Nivetha C. V., Dinesh R. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from *Nephelium lappaceum* L. fruit peel using central composite face centered response surface design. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017;10(1):S1145–S1157. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.02.007.
9. Da Porto C., Porretto E., Decorti D. Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2013;20(4):1076–1080. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.12.002.
10. Van Man P., Vu T. A., Hai T. C. Effect of ultrasound on extraction of polyphenol from the old tea leaves. *Annals. Food Science and Technology*. 2017;18(1):44–50.
11. Yang X., Li Yu., Li S., Oladejo A.O., Ruan S., Wang Yu., Huang Sh., Ma H. Effects of ultrasound pretreatment with different frequencies and working modes on the enzymolysis and the structure characterization of rice protein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017;38:19–28. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.02.026.
12. Fernando C. D., Soysa P. Extraction Kinetics of phytochemicals and antioxidant activity during black tea (*Camellia sinensis* L.) brewing. *Nutrition Journal*. 2015;14(1):74. DOI: 10.1186/s12937-015-0060-x.
13. Carciochi R. A., Manrique G. D., Dimitrov K. Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(7):4396–4404. DOI: 10.1007/s13197-014-1514-4.
14. Altemimi A., Watson D. G., Choudhary R., Dasari M. R., Lightfoot D. A. Ultrasound Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Peaches and Pumpkins. *PLOS ONE*. 2016;11(2):e0148758. DOI: 10.1371/journal.pone.0148758.

15. Zou T.-B., Xia E.-Q., He T.-P., Huang M.-Y., Jia Q., Li H.-W. Ultrasound-Assisted Extraction of Mangiferin from Mango (*Mangifera indica* L.) Leaves Using Response Surface Methodology. *Molecules*. 2014;19(2):1411–1421. DOI: 10.3390/molecules19021411.
16. Vankar P. S., Srivastava J. Ultrasound-Assisted Extraction in Different Solvents for Phytochemical Study of *Canna indica*. *International Journal of Food Engineering*. 2010;6(3). DOI: 10.2202/1556-3758.1599.
17. Dzah C. S. Influence of fruit maturity on antioxidant potential and chilling injury resistance of peach fruit (*Prunus persica*) during cold storage. *African J Food, Agric Nutr Dev*. 2014;14(7):9578–9591.
18. Zengin G., Cvetanović A., Gašić U., Stupar A., Bulut G., Şenkardeş I., Dogan A., Sinan K. I., Uysal S., Aumeeruddy-Elalfi Z., Aktumsek A., Mahomoodally M. F. Modern and traditional extraction techniques affect chemical composition and bioactivity of *Tanacetum parthenium* (L.) Sch.Bip. *Industrial Crops and Products*. 2020;146:112202. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112202.
19. Сульман М. Г., Анкудинова Т. В., Пирог Д. Н., Сульман Э. М., Семагина Н. В. Способ экстракции из твердого растительного сырья. Патент РФ на изобретение № 2104733. 06.11.1996. Доступно по: https://yandex.ru/patents/doc/RU2104733C1_19980220. Ссылка активна на 28.09.2021.
20. Зуев Н. М., Сизова Н. М., Спивак В. Л. Способ получения сухого водорастворимого экстракта из растительного сырья. Патент РФ на изобретение № 2005124561. 02.08.2005. Бюл. № 4. Доступно по: https://yandex.ru/patents/doc/RU2005124561A_20070210. Ссылка активна на 28.09.2021.
21. Литвинцев С. Г., Мартинсон Е. А., Злобин А. А. Способ выделения пектиновых веществ в нативном состоянии из плодовых оболочек шиповника. Патент РФ на изобретение № 2485804. 16.03.2010. Бюл. № 27. Доступно по: https://yandex.ru/patents/doc/RU2485804C2_20130627. Ссылка активна на 28.09.2021.
22. Живописцев В. С. Установка для экстракции биологического сырья сжиженными газами. Патент РФ на изобретение № 96121. 17.03.2010. Доступно по: https://yandex.ru/patents/doc/RU96121U1_20100720. Ссылка активна на 28.09.2021.
23. Шубенкова Е. Г., Чжу О. П., Лобова Ю. Ю., Лутаева И. А. Исследование влияния условий экстракции на извлечение биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами. *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета*. 2013;5(15):144–148.
24. Valeeva A. R., Makarova N. V., Valiulina D. F. Optimisation of conditions for extracting bioactive compounds exhibiting antioxidant properties from hawthorn fruit (*Crataegus*). *Proceedings of Universities Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(2):239–249. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-239-249.
25. Ставрианиди А. Н., Родин И. А., Браун А. В., Шпигун О. А. Быстрый способ ультразвуковой экстракции Гинсенозидов из растительного сырья и продуктов на основе женьшеня для ВЭЖХ-МС/МС анализа. *Аналитика и контроль*. 2013;17(4):459–464.
26. Макарова Н. В., Еремеева Н. Б. Сравнительное изучение влияния ультразвуковых воздействий на экстракцию антиоксидантных соединений ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.). *Химия растительного сырья*. 2020;1:167–177. DOI: 10.14258/jcprm.2020014425.
27. Макарова Н. В., Валиулина Д. Ф., Еремеева Н. Б. Сравнительные исследования методов извлечения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами из косточек винограда (*Vitis vinifera* L.). *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020;10(1):140–148. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-140-148.
28. Еремеева Н. Б., Макарова Н. В. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов черноплодной рябины. *Вестник МГТУ*. 2017;20(3):600–608. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-3-600-608.
29. Апаева А. В., Ямансарова Э. Т., Куковинцев О. С., Зворыгина О. Б. Влияние ультразвукового облучения на извлечение флавоноидов из зеленой массы гречихи. *Вестник Башкирского университета*. 2016;21(1):69–72.
30. Белокуров С. С., Флисюк Е. В., Сметова И. Е. Выбор метода экстрагирования для получения извлечений из семян пажитника сеного с высоким содержанием биологически активных веществ. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2019;8(3):35–39. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-3-35-39.
31. Белокуров С. С., Флисюк Е. В., Наркевич И. А., Лужанин В. Г., Шилов С. В., Новикова К. О. Сравнительный анализ перспективных методов экстрагирования для получения извлечений из семян пажитника сеного. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2019;8(3):49–55. DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-3-49-55.
32. Жиякова Е. Т., Цветкова З. Е., Писарев Д. И., Бойко Н. Н., Тимошенко Е. Ю. Интенсификация процесса производства густого экстракта плодов расторопши пятнистой с использованием ультразвуковой обработки сырья. *Фармация и фармакология*. 2018;6(5):475–487. DOI: 10.19163/2307-9266-2018-6-5-475-487.
33. Рудометова Н. В., Ким И. С. Исследование экстракции капсаицина из плодов острого перца рода *Capsicum*. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2019;1:62–73.
34. Попова Н. В., Потороко И. Ю. Повышение эффективности экстракции биологически активных веществ из растительного сырья методом ультразвукового воздействия. *Вестника ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2018;6(1):14–22. DOI: 10.14529/food180102.
35. Загорюлько Е. Ю., Теслев А. А., Ожигова М. Г. Разработка и оптимизация технологии ультразвукового экстрагирования ромашки аптечной цветков (*Chamomilla Recutita* flores). *Фармация и фармакология*. 2018;6(2):151–166. DOI: 10.19163/2307-9266-2018-6-2-151-166.
36. Милевская В. В., Статкус М. А., Темердашев З. А., Киселева Н. В., Бутыльская Т. С., Шилько Е. А. Экстракция и определение биологически активных компонентов зверобоя и препаратов на его основе. *Журнал аналитической химии*. 2016;71(7):768–774.
37. Подолина Е. А., Ханина М. А., Рудаков О. Б., Небольсин А. Е. Ультразвуковая экстракция и УФ-спектрофотометрическое определение суммы флавоноидов и дубильных веществ в надземной части василька синего. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2018;2:28–35.
38. Tiwari B. K. Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2015;71:100–109. DOI: 10.1016/j.trac.2015.04.013.
39. Segovia F. J., Corral-Pérez J. J., Almajano M. P. Avocado seed: Modeling extraction of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*. 2016;85:213–220. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.005.
40. Sousa A. D., Maia A. I. V., Rodrigues T. H. S., Canuto K. M., Ribeiro P. R. V., de Cassia Alves Pereira R., Vieira R. F., de Brito E. S. Ultrasound-assisted and pressurized liquid extraction of phenolic compounds from *Phyllanthus amarus* and its composition evaluation by UPLC-QTOF. *Industrial Crops and Products*. 2016;79:91–103. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.10.045.
41. Rodrigues D., Freitas A. C., Sousa S., Amorim M., Vasconcelos M. W., da Costa J. P., Silva A. M. S., Rocha-Santos T. A. P., Duarte A. C., Gomes A. M. P. Chemical and structural characterization of *Pholiota nameko* extracts with biological properties. *Food Chemistry*. 2017;216:176–85. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.030.
42. Khemakhem I., Ahmad-Qasem M. H., Catalán E. B., Micol V., García-Pérez J. V., Ayadi M. A., Bouaziz M. Kinetic improvement of olive leaves' bioactive compounds extraction by using power ultrasound in a wide temperature range. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017;34:466–473. DOI: 10.1016/j.ulsonch.2016.06.010.
43. Kazemi M., Karim R., Mirhosseini H., Hamid A. A., Tamnak S. Processing of Parboiled Wheat Noodles Fortified with Pulsed Ultrasound Pomegranate (*Punica granatum* L. var. Malas) Peel Extract. *Food and Bioprocess Technology*. 2017;10(2):379–393. DOI: 10.1007/s11947-016-1825-8.
44. Chan C.-H., See T.-Y., Yusoff R., Ngoh G.-C., Kow K.-W. Extraction of bioactives from Orthosiphon stamineus using microwave and ultrasound-assisted techniques: Process optimization and scale up. *Food Chemistry*. 2017;221:1382–1387. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.016.

45. Tomšik A., Pavlič B., Vradić J., Ramić M., Brindza J., Vidović S. Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from wild garlic (*Allium ursinum* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016;29:502–511. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.005.
46. Al-Suod H., Ratiu I.-A., Krakowska-Sieprawska A., Lahuta L., Górecki R., Buszewski B. Supercritical fluid extraction in isolation of cyclitols and sugars from chamomile flowers. *Journal of Separation Science*. 2019;42(20):3243–3252. DOI: 10.1002/jssc.201900539.
47. Dzah C. S., Duan Yu., Zhang H., Wen C., Zhang J., Chen G., Ma H. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*. 2020;35:100547. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100547.
48. Llorent-Martínez E. J., Zengin G., Sinan K. I., Polat R., Canlı D., Picot-Allain M. C. N., Mahomoodally M. F. Impact of different extraction solvents and techniques on the biological activities of *Cirsium yildizianum* (Asteraceae: Cynareae). *Industrial Crops and Products*. 2020;144:112033. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.112033.
49. Zengin G., Cvetanović A., Gašić U., Stupar A., Bulut G., Şenkardes I., Dogan A., Sinan K. I., Uysal S., Aumeeruddy-Elalfi Z., Ak-tumsek A., Mahomoodally M. F. Modern and traditional extraction techniques affect chemical composition and bioactivity of *Tanacetum parthenium* (L.) Sch.Bip. *Industrial Crops and Products*. 2020;146:112202. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112202.
50. Zoumpoulakis P., Sinanoglou V. J., Siapi E., Heropoulos G., Proestos C. Evaluating Modern Techniques for the Extraction and Characterisation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds Phenolics. *Antioxidants*. 2017;6(3):46. DOI: 10.3390/antiox6030046.
51. Chen G., Fang C., Chen X., Wang Z., Liu M., Kan J. High-pressure ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides from *Mentha haplocalyx*: Structure, functional and biological activities. *Industrial Crops and Products*. 2019;130:273–284. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.12.086.
52. Seukep A. J., Zhang Y.-L., Xu Y.-B., Guo M.-Q. In Vitro Antibacterial and Antiproliferative Potential of *Echinops lanceolatus* Mattf. (Asteraceae) and Identification of Potential Bioactive Compounds. *Pharmaceuticals*. 2020;13(4):59. DOI: 10.3390/ph13040059.
53. Moczowska M., Karp S., Niu Y., Kurek M. A. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach. *Food Hydrocolloids*. 2019;90:105–112. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.018.
54. Rodsamran P., Sothornvit R. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. *Food Bioscience*. 2019;28:66–73. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.01.017.
55. Santos K. A., Gonçalves J. E., Cardozo-Filho L., da Silva E. A. Pressurized liquid and ultrasound-assisted extraction of α -bisabolol from candeia (*Eremanthus erythropappus*) wood. *Industrial Crops and Products*. 2019;130:428–435. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.01.013.
56. Sharayei P., Azarpazhooh E., Zomorodi S., Ramaswamy H. S. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. *LWT*. 2019;101:342–350. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.11.031.
57. Sut S., Dall'Acqua S., Zengin G., Senkardes I., Bulut G., Cvetanović A., Stupar A., Mandić A., Picot-Allain C., Dogan A., Sinan K. I., Mahomoodally F. Influence of different extraction techniques on the chemical profile and biological properties of *Anthemis cotula* L.: Multifunctional aspects for potential pharmaceutical applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2019;173:75–85. DOI: 10.1016/j.jpharm.2012.04.027.
58. St-Pierre F., Achim A., Stevanovic T. Composition of ethanolic extracts of wood and bark from *Acer saccharum* and *Betula alleghaniensis* trees of different vigor classes. *Industrial Crops and Products*. 2013;41:179–187. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.027.
59. Stroe, A.-C., Oancea S. Ultrasound-assisted and enzyme-assisted extraction of fructans and phenolics from parsnip (*Pastinaca sativa* L.). *Current Trends in Natural Sciences*. 2019;8(15):29–34.
60. Valachovic P., Pechova A., Mason T. J. Towards the industrial production of medicinal tincture by ultrasound assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2001;8(2):111–117. DOI: 10.1016/S1350-4177(00)00066-3.
61. Hromádková Z., Ebringerová A., Valachovič P. Ultrasound-assisted extraction of water-soluble polysaccharides from the roots of valerian (*Valeriana officinalis* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2002;9(1):37–44. DOI: 10.1016/S1350-4177(01)00093-1.
62. Zhang X., Ban Q., Wang X., Wang Z. Green and Efficient PEG-Based Ultrasonic-Assisted Extraction of Polysaccharides from Tree Peony Pods and the Evaluation of Their Antioxidant Activity In Vitro. *BioMed Research International*. 2018;2018:1–7. DOI: 10.1155/2018/2121385.
63. Bimkr M., Rahman R. A., Taip F. S., Adzahan N. M., Sarker Md. Z. I., Ganjloo A. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Crude Oil from Winter Melon (*Benincasa hispida*) Seed Using Response Surface Methodology and Evaluation of Its Antioxidant Activity, Total Phenolic Content and Fatty Acid Composition. *Molecules*. 2012;17(10):11748–11762. DOI: 10.3390/molecules171011748.
64. Cares M. G., Vargas Y., Gaete L., Sainz J., Alarcon J. Ultrasonically assisted Extraction of bioactive principles from Quillaja Saponaria Molina. *Physics Procedia*. 2010;3(1):169–178. DOI: 10.1016/j.phpro.2010.01.024.
65. Mansoori S., Bahmanyar H., Ozumchelouei E. J., Najafipour I. Investigation and optimisation of the extraction of carvone and limonene from the Iranian *Mentha spicata* through the ultrasound-assisted extraction method. *Indian Chemical Engineer*. 2020;1–10. DOI: 10.1080/00194506.2020.1831407.
66. Думитраш П. Г., Болога М. К., Шемякова Т. Д. Ультразвуковая экстракция биологически активных соединений из семян томатов. *Электронная обработка материалов*. 2016;52(3):47–52.

REFERENCES

1. Maroun R. G., Rajha H. N., Darra N. E., Kantar S. E., Chacar S., Debs E., Vorobiev E., Louka N. Emerging technologies for the extraction of polyphenols from natural sources. In: *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*. Amsterdam: Elsevier; 2018. P. 265–293.
2. Zoumpoulakis P., Sinanoglou V. J., Siapi E., Heropoulos G., Proestos C. Evaluating Modern Techniques for the Extraction and Characterisation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds Phenolics. *Antioxidants*. 2017;6(3):46. DOI: 10.3390/antiox6030046.
3. Dzah C. S., Duan Y., Zhang H., Wen C., Zhang J., Chen G., Ma H. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*. 2020;35:100547. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100547.
4. Lavilla I., Bendicho C. Fundamentals of Ultrasound-Assisted Extraction. In: *Water Extraction of Bioactive Compounds*. Amsterdam: Elsevier; 2017. P. 291–316. DOI: 10.1016/B978-0-12-809380-1.00011-5.
5. Madhu B., Srinivas M. S., Srinivas G., Jain S. K. Ultrasonic Technology and Its Applications in Quality Control, Processing and Preservation of Food: A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2019;32(5):1–11. DOI: 10.9734/CJAST/2019/46909.
6. Petkova N., Ivanov I., Vrancheva R., Denev P., Pavlov A. Ultrasound and Microwave-Assisted Extraction of Elecampane (*Inula helenium*) Roots. *Natural Product Communications*. 2017;12(2):1934578X1701200. DOI: 10.1177/1934578X1701200207.
7. Rodsamran P., Sothornvit R. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. *Food Bioscience*. 2019;28:66–73. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.01.017.
8. Maran J. P., Manikandan S., Nivetha C. V., Dinesh R. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from *Nephelium lappaceum* L. fruit peel using central composite face centered response

- surface design. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017;10(1):S1145–S1157. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.02.007.
9. Da Porto C., Porretto E., Decorti D. Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2013;20(4):1076–1080. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.12.002.
10. Van Man P., Vu T. A., Hai T. C. Effect of ultrasound on extraction of polyphenol from the old tea leaves. *Annals. Food Science and Technology*. 2017;18(1):44–50.
11. Yang X., Li Yu., Li S., Oladejo A.O., Ruan S., Wang Yu., Huang Sh., Ma H. Effects of ultrasound pretreatment with different frequencies and working modes on the enzymolysis and the structure characterization of rice protein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017;38:19–28. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.02.026.
12. Fernando C. D., Soysa P. Extraction Kinetics of phytochemicals and antioxidant activity during black tea (*Camellia sinensis* L.) brewing. *Nutrition Journal*. 2015;14(1):74. DOI: 10.1186/s12937-015-0060-x.
13. Carciochi R. A., Manrique G. D., Dimitrov K. Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(7):4396–4404. DOI: 10.1007/s13197-014-1514-4.
14. Altemimi A., Watson D. G., Choudhary R., Dasari M. R., Lightfoot D. A. Ultrasound Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Peaches and Pumpkins. *PLOS ONE*. 2016;11(2):e0148758. DOI: 10.1371/journal.pone.0148758.
15. Zou T.-B., Xia E.-Q., He T.-P., Huang M.-Y., Jia Q., Li H.-W. Ultrasound-Assisted Extraction of Mangiferin from Mango (*Mangifera indica* L.) Leaves Using Response Surface Methodology. *Molecules*. 2014;19(2):1411–1421. DOI: 10.3390/molecules19021411.
16. Vankar P. S., Srivastava J. Ultrasound-Assisted Extraction in Different Solvents for Phytochemical Study of *Canna indica*. *International Journal of Food Engineering*. 2010;6(3). DOI: 10.2202/1556-3758.1599.
17. Dzah C. S. Influence of fruit maturity on antioxidant potential and chilling injury resistance of peach fruit (*Prunus persica*) during cold storage. *African J Food, Agric Nutr Dev*. 2014;14(7):9578–9591.
18. Zengin G., Cvetanović A., Gašić U., Stupar A., Bulut G., Šenkardes I., Dogan A., Sinan K. I., Uysal S., Aumeeruddy-Elalfi Z., Aktumsek A., Mahomoodally M. F. Modern and traditional extraction techniques affect chemical composition and bioactivity of *Tanacetum parthenium* (L.) Sch.Bip. *Industrial Crops and Products*. 2020;146:112202. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112202.
19. Sul'man M. G., Ankudinova T. V., Pirog D. N., Sul'man Eh. M., Semagina N. V. *Sposob ekstraksii iz tverdogo rastitel'nogo syr'ya* [Method of extraction from solid vegetable raw material]. Patent RUS № 2104733. 06.11.1996. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2104733C1_19980220. Accessed: 28.09.2021. (In Russ.)
20. Zuev N. M., Sizova N. M., Spivak V. L. *Sposob polucheniya sukhogo vodorastvorimogo ekstrakta iz rastitel'nogo syr'ya* [Method of producing dry water-soluble extract from vegetable raw materials]. Patent RUS № 2005124561. Byul. № 4. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2005124561A_20070210. Accessed: 28.09.2021. (In Russ.)
21. Litvinets S. G., Martinson E. A., Zlobin A. A. *Sposob vydeleniya pektinovykh veshchestv v nativnom sostoyanii iz plodovykh obolochek shipovnika* [Method for extraction of pectin substances in native state from rosehip fruit shells]. Patent RUS № 2485804. 16.03.2010. Byul. № 27. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2485804C2_20130627. Accessed: 28.09.2021. (In Russ.)
22. Zhivopishev V. S. *Ustanovka dlya ekstraksii biologicheskogo syr'ya szhizhennymi gazami* [Unit for extraction of biological raw materials with liquefied gases]. Patent RUS № 96121. 17.03.2010. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU96121U1_20100720. Accessed: 28.09.2021. (In Russ.)
23. Shubenkova E. G., Chzhu O. P., Lobova Ju. Y., Lutaeva I. A. Study the influence of extraction conditions on elicitation of biologically active substances with antioxidant properties. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Novosibirsk state pedagogical university*. 2013;5(15):144–148. (In Russ.)
24. Valeeva A. R., Makarova N. V., Valiulina D. F. Optimisation of conditions for extracting bioactive compounds exhibiting antioxidant properties from hawthorn fruit (*Crataegus*). *Proceedings of Universities Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(2):239–249. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-239-249.
25. Stavrianidi A. N., Rodin I. A., Braun A. V., Shpigun O. A. Rapid method of ultrasound-assisted extraction of Ginsenosides from plant materials and ginseng products applicable for HPLC-MS/MS analysis. *Analitika i kontrol = Analytics and Control*. 2013;17(4):459–464. (In Russ.)
26. Makarova N. V., Yeremeyeva N. B. Comparative study of the influence of ultrasonic influences on the extraction of anti-oxidant compounds of blackberry berries (*Vaccinium myrtillus* L.). *Khimija rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2020;1:167–177. (In Russ.) DOI: 10.14258/jcprm.2020014425.
27. Makarova N.V., Valiulina D.F., Ereemeeva N.B. Comparative studies of extraction methods of biologically-active substances with antioxidant properties from grape seed (*Vitis vinifera* L.). *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(1):140–148. (In Russ.) DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-140-148.
28. Ereemeeva N. B., Makarova N. V. The effect of extraction technology on antioxidant activity of black chokeberry. *Vestnik MGTU*. 2017;20(3):600–608. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-3-600-608.
29. Apaeva A. V., Yamansarova E. T., Kukovinetz O. S., Zvorogina O. B. The effect of ultrasonic irradiation on extraction of flavonoids from green mass of buckwheat. *Vestnik Bashkirskogo universiteta = Bulletin of Bashkir University*. 2016;21(1):69–72. (In Russ.)
30. Belokurov S. S., Flysyuk E. V., Smekhova I. E. Choice of Extraction Method for Receiving Extraction from Seeds of Payne Hay with the High Content of Biologically Active Substances. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Drug development & registration*. 2019;8(3):35–39. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-3-35-39.
31. Belokurov S. S., Flysyuk E. V., Narkevich I. A., Luzhanin V. G., Shilov S. V., Novikova K. O. Comparative Analysis of Perspective Extragation Methods for Receiving Extractions from Fenugreek Seeds. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv = Drug development & registration*. 2019;8(3):49–55. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2019-8-3-49-55.
32. Zhilyakova E. T., Tsvetkova Z. E., Pisarev D. I., Boyko N. N., Tymoshenko E. Yu. Intensification of production process of thick extract of milk thistle fruits by ultrasonic processing of raw materials. *Farmatsiya i farmakologiya = Pharmacy & Pharmacology*. 2018;6(5):475–487. (In Russ.) DOI: 10.19163/2307-9266-2018-6-5-475-487.
33. Rudometova N. V., Kim I. S. Capsaicin extraction from hot pepper of *Capsicum* genus. Scientific Journal NRU ITMO. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya "Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv" = Processes and Food Production Equipment*. 2019;1:62–73. (In Russ.)
34. Popova N. V., Potoroko I. Yu. Increase of efficiency of biologically active substance extraction from vegetable raw material by ultrasonic treatment. *Vestnika YuUrGU. Seriya «Pishchevye i biotekhnologii» = Bulletin of the South Ural State University Series Food and Biotechnology*. 2018;6(1):14–22. (In Russ.) DOI: 10.14529/food180102.
35. Zagorulko E. Y., Teslev A. A., Ozhigova M. G. Development and optimization of ultrasound extraction of chamomile flowers (*Chamomillae Recutita flores*). 2018;6(2):151–166. (In Russ.) DOI: 10.19163/2307-9266-2018-6-2-151-166.
36. Milevskaya V. V., Temerdashev Z. A., Kiseleva N. V., Butyl'skaya T. S., Shil'ko E. A. *Ekstraktsiya i opredelenie biologicheskikh aktivnykh komponentov zveroboya i preparatov na ego osnove* [Extraction and determination of biologically active components of St. John's wort and its pharmaceutical preparations]. *Zhurnal analiticheskoy khimii = Journal of Analytical Chemistry*. 2016;71(7):768–774. (In Russ.)

37. Podolina E. A., Khanina M. A., Rudakov O. B., Nebolsin A. E. Ultrasonic extraction and UV spectrophotometric determination of the amount of flavonoids and tanning agents in the above-ground part of a bluebottle. *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2018;2:28–35. (In Russ.)
38. Tiwari B. K. Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2015;71:100–109. DOI: 10.1016/j.trac.2015.04.013.
39. Segovia F. J., Corral-Pérez J. J., Almajano M. P. Avocado seed: Modeling extraction of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*. 2016;85:213–220. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.005.
40. Sousa A. D., Maia A. I. V., Rodrigues T. H. S., Canuto K. M., Ribeiro P. R. V., de Cassia Alves Pereira R., Vieira R. F., de Brito E. S. Ultrasound-assisted and pressurized liquid extraction of phenolic compounds from *Phyllanthus amarus* and its composition evaluation by UPLC-QTOF. *Industrial Crops and Products*. 2016;79:91–103. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.10.045.
41. Rodrigues D., Freitas A. C., Sousa S., Amorim M., Vasconcelos M. W., da Costa J. P., Silva A. M. S., Rocha-Santos T. A. P., Duarte A. C., Gomes A. M. P. Chemical and structural characterization of *Pholiota nameko* extracts with biological properties. *Food Chemistry*. 2017;216:176–85. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.030.
42. Khemakhem I., Ahmad-Qasem M. H., Catalán E. B., Micol V., García-Pérez J. V., Ayadi M. A., Bouaziz M. Kinetic improvement of olive leaves' bioactive compounds extraction by using power ultrasound in a wide temperature range. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017;34:466–473. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.010.
43. Kazemi M., Karim R., Mirhosseini H., Hamid A. A., Tamnak S. Processing of Parboiled Wheat Noodles Fortified with Pulsed Ultrasound Pomegranate (*Punica granatum* L. var. Malas) Peel Extract. *Food and Bioprocess Technology*. 2017;10(2):379–393. DOI: 10.1007/s11947-016-1825-8.
44. Chan C.-H., See T.-Y., Yusoff R., Ngho G.-C., Kow K.-W. Extraction of bioactives from *Orthosiphon stamineus* using microwave and ultrasound-assisted techniques: Process optimization and scale up. *Food Chemistry*. 2017;221:1382–1387. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.016.
45. Tomšik A., Pavlič B., Vladojč J., Ramič M., Brindza J., Vidović S. Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from wild garlic (*Allium ursinum* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016;29:502–511. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.005.
46. Al-Suod H., Ratiu I.-A., Krakowska-Sieprawska A., Lahuta L., Górecki R., Buszewski B. Supercritical fluid extraction in isolation of cyclitols and sugars from chamomile flowers. *Journal of Separation Science*. 2019;42(20):3243–3252. DOI: 10.1002/jssc.201900539.
47. Dzah C. S., Duan Yu., Zhang H., Wen C., Zhang J., Chen G., Ma H. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*. 2020;35:100547. DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100547.
48. Llorent-Martínez E. J., Zengin G., Sinan K. I., Polat R., Canlı D., Picot-Allain M. C. N., Mahomoodally M. F. Impact of different extraction solvents and techniques on the biological activities of *Cirsium yildizianum* (Asteraceae: Cynareae). *Industrial Crops and Products*. 2020;144:112033. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.112033.
49. Zengin G., Cvetanović A., Gašić U., Stupar A., Bulut G., Şenkardeş I., Dogan A., Sinan K. I., Uysal S., Aumeeruddy-Elalfi Z., Akumsek A., Mahomoodally M. F. Modern and traditional extraction techniques affect chemical composition and bioactivity of *Tanacetum parthenium* (L.) Sch.Bip. *Industrial Crops and Products*. 2020;146:112202. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112202.
50. Zoumpoulakis P., Sinanoglou V. J., Siapi E., Heropoulos G., Proestos C. Evaluating Modern Techniques for the Extraction and Characterisation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds Phenolics. *Antioxidants*. 2017;6(3):46. DOI: 10.3390/antiox6030046.
51. Chen G., Fang C., Chen X., Wang Z., Liu M., Kan J. High-pressure ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides from *Mentha haplocalyx*: Structure, functional and biological activities. *Industrial Crops and Products*. 2019;130:273–284. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.12.086.
52. Seukep A. J., Zhang Y.-L., Xu Y.-B., Guo M.-Q. In Vitro Antibacterial and Antiproliferative Potential of *Echinops lanceolatus* Mattf. (Asteraceae) and Identification of Potential Bioactive Compounds. *Pharmaceuticals*. 2020;13(4):59. DOI: 10.3390/ph13040059.
53. Moczowska M., Karp S., Niu Y., Kurek M. A. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach. *Food Hydrocolloids*. 2019;90:105–112. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.018.
54. Rodsamran P., Sothornvit R. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-assisted extractions. *Food Bioscience*. 2019;28:66–73. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.01.017.
55. Santos K. A., Gonçalves J. E., Cardozo-Filho L., da Silva E. A. Pressurized liquid and ultrasound-assisted extraction of α-bisabolol from candeia (*Eremanthus erythropappus*) wood. *Industrial Crops and Products*. 2019;130:428–435. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.01.013.
56. Sharayei P., Azarpazhooh E., Zomorodi S., Ramaswamy H. S. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. *LWT*. 2019;101:342–350. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.11.031.
57. Sut S., Dall'Acqua S., Zengin G., Senkardes I., Bulut G., Cvetanović A., Stupar A., Mandić A., Picot-Allain C., Dogan A., Sinan K. I., Mahomoodally F. Influence of different extraction techniques on the chemical profile and biological properties of *Anthemis cotula* L.: Multifunctional aspects for potential pharmaceutical applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2019;173:75–85. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.027.
58. St-Pierre F., Achim A., Stevanovic T. Composition of ethanolic extracts of wood and bark from *Acer saccharum* and *Betula alleghaniensis* trees of different vigor classes. *Industrial Crops and Products*. 2013;41:179–187. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.027.
59. Stroe, A.-C., Oancea S. Ultrasound-assisted and enzyme-assisted extraction of fructans and phenolics from parsnip (*Pastinaca sativa* L.). *Current Trends in Natural Sciences*. 2019;8(15):29–34.
60. Valachovic P., Pechova A., Mason T. J. Towards the industrial production of medicinal tincture by ultrasound assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2001;8(2):111–117. DOI: 10.1016/S1350-4177(00)00066-3.
61. Hromádková Z., Ebringerová A., Valachovič P. Ultrasound-assisted extraction of water-soluble polysaccharides from the roots of valerian (*Valeriana officinalis* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2002;9(1):37–44. DOI: 10.1016/S1350-4177(01)00093-1.
62. Zhang X., Ban Q., Wang X., Wang Z. Green and Efficient PEG-Based Ultrasonic-Assisted Extraction of Polysaccharides from Tree Peony Pods and the Evaluation of Their Antioxidant Activity In Vitro. *BioMed Research International*. 2018;2018:1–7. DOI: 10.1155/2018/2121385.
63. Bimakr M., Rahman R. A., Taip F. S., Adzahan N. M., Sarker Md. Z. I., Ganjloo A. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Crude Oil from Winter Melon (*Benincasa hispida*) Seed Using Response Surface Methodology and Evaluation of Its Antioxidant Activity, Total Phenolic Content and Fatty Acid Composition. *Molecules*. 2012;17(10):11748–11762. DOI: 10.3390/molecules171011748.
64. Cares M. G., Vargas Y., Gaete L., Sainz J., Alarcon J. Ultrasonically assisted Extraction of bioactive principles from Quillaja Saponaria Molina. *Physics Procedia*. 2010;3(1):169–178. DOI: 10.1016/j.phpro.2010.01.024.
65. Mansoori S., Bahmanyar H., Ozumchelouei E. J., Najafipour I. Investigation and optimisation of the extraction of carvone and limonene from the Iranian *Mentha spicata* through the ultrasound-assisted extraction method. *Indian Chemical Engineer*. 2020;1–10. DOI: 10.1080/00194506.2020.1831407.
66. Dumitrash P. G., Bologa M. K., Shemyakova T. D. Ul'trazvukovaya ekstraktsiya biologicheskii aktivnykh soedineniy iz semyan tomatov [Ultrasonic extraction of biologically active compounds from tomato seeds]. *Elektronnaya Obrabotka Materialov = Electronic Processing of Materials*. 2016;52(3):47–52. (In Russ.)