

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК ФАКТОРА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ

И.В. Калинина, Р.И. Фаткуллин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В статье рассматриваются вопросы использования новых подходов к процессам экстракции биологически активных веществ из растительного сырья. Авторами подтверждается актуальность проводимых исследований с точки зрения необходимости поиска эффективных технологий извлечения физиологически ценных (функциональных) ингредиентов из ягодного сырья, разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий. Исследование указанных вопросов согласуется с основными долгосрочными стратегиями развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ, закрепленными в основных законодательных и правовых документах. Основной упор авторы делают на поиск режимов ультразвукового кавитационного воздействия, позволяющих интенсифицировать экстракционный процесс в целом, а также обеспечить максимальное извлечение ряда полифенольных соединений, в том числе дубильных, обладающих витаминной активностью и антиоксидантными свойствами. В статье представлен обзор достижений мировых ученых в части применения ультразвукового кавитационного воздействия для различных сфер пищевой отрасли. Раскрываются основы ультразвукового кавитационного воздействия, его возможные эффекты и перспективы их применения. Полученные в результате исследования данные объясняются с позиций теоретически признанных эффектов, а также собственных наиболее вероятных предположений механизма воздействия ультразвука на экстракционные процессы. Представленные в статье результаты могут носить как теоретический интерес в плане изучения эффектов ультразвукового кавитационного воздействия, так и иметь практическую ценность для пищевой и перерабатывающей промышленности, как возможность разработки и внедрения прогрессивных технологических подходов и решений. Авторами также представлены возможные дальнейшие перспективы начатых исследований, их развитие и применение.

Ключевые слова: ультразвуковое кавитационное воздействие, экстракция, биологически активные вещества.

На протяжении последних лет активная пропаганда привела к значительному росту интереса населения к здоровому образу жизни и здоровому питанию. Этому же способствовало установление причинной связи роста числа хронических заболеваний с несбалансированным питанием, в результате чего к пищевым продуктам стали относиться как к эффективному средству снижения риска возникновения многих заболеваний и поддержания здоровья человека [2, 4, 6, 17].

Многие научно-исследовательские институты и промышленные компании занялись активным поиском и производством функциональных ингредиентов и, как результат, только на российском рынке в настоящее время присутствует около 6 – 8 тысяч биологически активных добавок (БАД).

Однако, чем больших успехов было достигнуто в создании и производстве искусст-

венных БАД, тем больше растет стремление, доверие и интерес потребителей к натуральным биологически активным веществам, а также продуктам и напиткам, нативно содержащим функциональные ингредиенты. В связи с этим актуальной проблемой на сегодня остается поиск инновационных технологий, направленных на ресурсосберегающую переработку сырья, интенсификацию технологических процессов и максимальное накопление/ извлечение физиологически ценных компонентов из сырьевых ресурсов [1, 8]¹.

Особую актуальность приобретают вопросы научно-обоснованного рационального использования технологий с применением современных электрофизических способов воздействия, в том числе, ультразвуковых.

¹ Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 года № 120.

Проблемы применимости ультразвукового воздействия (УЗВ) в пищевых производствах изучаются различными группами ученых.

Австралийскими учеными Muthupandian Ashokkumar, Pablo Juliano, Bogdan Zisu предлагается применять эффекты кавитации для инкапсуляции функциональных компонентов и их переноса. Французскими учеными – проф. Farid Chemat и проф. Jochen Strubem – доказана применимость ультразвукового воздействия в технологии натуральных продуктов на основе процессов эко-экстракции. Christina Hesselmann, Pablo Juliano и Kai Knoetzer предложена сверхзвуковая модуляция химии клеточной стенки для улучшения структуры переработанных плодов и овощей. Bogdan Zisu и Tina Dincerb доказали применимость ультразвука в технологии переработки молока с акцентом на интенсификацию процессов концентрации сухих веществ молока. Yacine Hemara, Ning Kanga и Muthupandian Ashokkumar описывают использование мощного ультразвука в модификации крахмала, в противоположность химическим и ферментативным методам, которые традиционно используются, чтобы обеспечить крахмалу функциональные свойства [3, 5, 6, 8, 10, 16].

Однако влияние ультразвуковых технологий на процесс интенсификации извлечения или накопления функциональных компонентов изучено недостаточно, что стало основной целью нашего исследования.

Известно, что большинство нативных пищевых систем состоит из разных нутриентов, имеющих широкую зону нестабильности по количеству и качеству, и как следствие, свойствам. Вместе с тем, нутриенты пищевых продуктов представляют огромную ценность как самостоятельные пищевые функциональные ингредиенты.

Для извлечения нутриентов, в частности биологически активных веществ из растительного сырья, в пищевой промышленности традиционно применяют различные подходы, в том числе экстракцию. Вместе с тем, традиционная экстракция протекает, как правило, произвольно, что оказывает негативное влияние на конечный выход биологически активных веществ и их свойства [7, 9, 15, 18].

При произвольном течении экстракции имеют место быть ряд недостатков – значительный диапазон колебаний размерного ряда экстрагируемых частиц, увеличение зоны нестабильного протекания диффузионных про-

цессов, невозможность воспроизводства процесса экстракции в технологическом потоке и т. д. Вследствие этого, существует острая необходимость регулирования и жесткого контроля процесса экстракции для обеспечения заданных параметров получаемых продуктов.

Использование ультразвуковой экстракции может позволить минимизировать указанные недостатки, обеспечив эффективное протекание процесса экстракции, путем регулирования скорости диффузии, увеличения проникающей способности экстрагента, как следствие, увеличения количества экстрагируемых веществ, в том числе меньшего размерного ряда.

Кавитация – это важный эффект УЗВ, который обуславливает физические и химические изменения в среде воздействия. Механизм ультразвуковой кавитации в жидких системах обусловлен образованием ударных волн, высокой температуры и давления [9, 13, 12, 13, 19].

Физические эффекты проявляются в изменении вязкости, дисперсного состояния, а также прочности коллоидной системы, химические, как правило, взаимосвязаны с тепло-массообменом [10, 11, 14].

Выбор правильных параметров ведения процесса ультразвуковой экстракции (мощность, частота, время воздействия, конфигурация ультразвукового воздействия) представляет особый интерес для пищевой промышленности. Контролируя такие показатели как перенасыщение, отношение экстрагента к экстрагируемому веществу, температуру экстракции и другие характеристики, возможно обеспечить эффективность протекания процесса и интенсифицировать извлечение функциональных ингредиентов из сырья.

В задачи нашего исследования входило установить возможность использования УЗВ в технологии экстракционных процессов при переработке ягодного сыра.

В рамках работы была поставлена серия экспериментов, направленных на установление возможности использования ультразвукового воздействия в технологии экстракционных процессов и извлечения физиологически ценных веществ из ягод клюквы с учетом следующих условий:

- частота УЗВ ($22 \pm 1,65$) кГц;
- мощность 180 Вт;
- время воздействия 1 мин (режим 1), 3 мин (режим 2), 5 мин (режим 3).

Фармацевтический и пищевой инжиниринг

Оценивались показатели экстрактов, характеризующие общий характер протекания процесса экстракции и интенсивность извлечения физиологически ценных компонентов: содержание сухих веществ, массовая доля дубильных веществ. Результаты исследования представлены на рис. 1.

Результаты, представленные на рис. 1, свидетельствуют о выраженном влиянии ультразвукового воздействия на процесс экстракции. Использование УЗВ позволило увеличить выход экстрагируемых веществ в сравнении с контролем.

Полученные эффекты увеличения выхода экстрактивных веществ при использовании ультразвуковой обработки обусловлены механическим действием ультразвука, способствующим прониканию растворителя в растительную ткань. Разрушая клеточные стенки, ультразвук облегчает поступление экстрактивных веществ из клеток в растворитель. Кроме того, дробление частиц посредством ультразвуковой кавитации увеличивает площадь соприкосновения между экстрагируемыми веществами и экстрагентом.

Среди экстрагируемых компонентов клюквы, с точки зрения физиологической ценности, приоритетное значение имеют дубильные вещества, которые представляют собой сложную смесь нескольких десятков полифенольных соединений, состоящую из танина, различных катехинов и их производных. Большая часть этих соединений обладает Р-

витаминно, антиоксидантной активностью и бактерицидным свойствами, что в целом определяет и их физиологическую ценность.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что воздействие ультразвука на этапе экстракции позволило увеличить содержание дубильных веществ в сравнении с контрольным образцом. Гораздо более эффективными оказались 2 и 3 режимы воздействия, которые позволили увеличить содержание дубильных веществ на 21 и 28 % соответственно.

В целом же тенденции экстрагирования дубильных веществ и общего количества сухих веществ в исследуемых образцах носили идентичный характер, что в свою очередь, подтверждает эффективность 2 и 3 режимов УЗВ в отношении физиологически ценных компонентов ягодного сырья.

В рамках дальнейших исследований для нас представляла интерес возможность оценить влияние ультразвукового воздействия на экстрагирование веществ антиоксидантного ряда и оценить антиоксидантные свойства экстрактов.

Под антиоксидантной активностью (АОА) понимают способность продуктов тормозить процессы окисления органических и высокомолекулярных соединений, и тем самым снижать выход продуктов этого окисления: гидроперекисей, спиртов, альдегидов, кетонов, жирных кислот и т. д. Одним из наиболее простых и доступных является метод

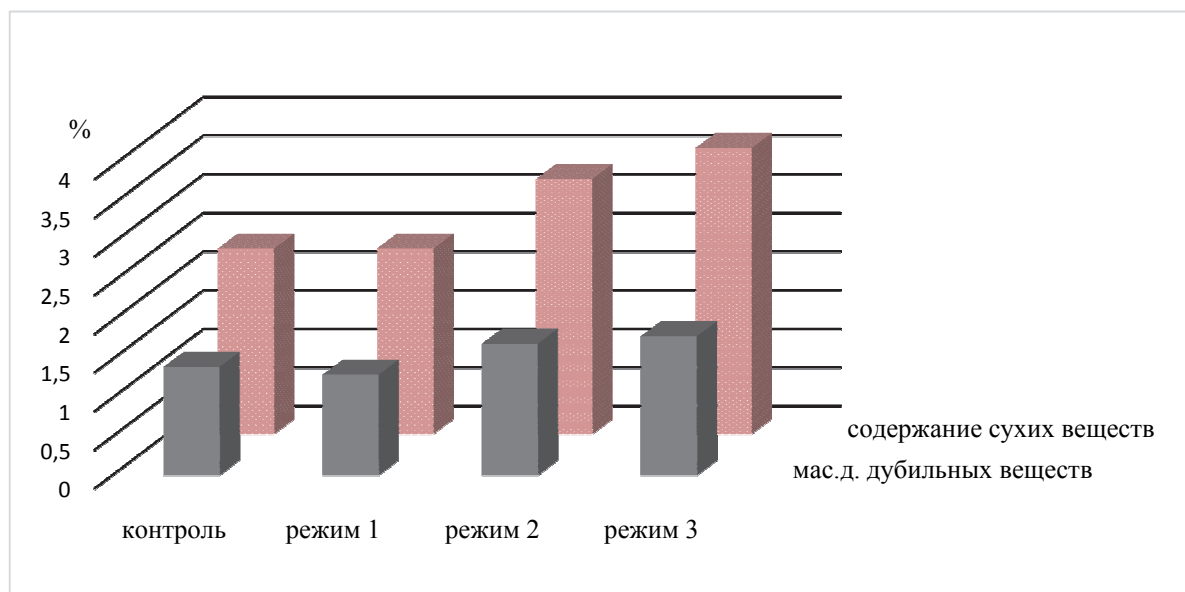


Рис. 1. Результаты определения физико-химических показателей качества экстрактов

определения антиоксидантной активности с использованием окисления жиросодержащих продуктов.

В рамках исследования использовалась методика, основанная на использовании метода определения перекисного числа (ПЧ) льняного масла [2, 3] и выражение АОА в условных единицах, определяемых как 1/ПЧ. Результаты определения этого показателя представлены на рис. 2.

Результаты определения антиоксидантной активности (АОА) исследуемых образцов экстрактов показали эффективность использования ультразвукового воздействия для извлечения веществ антиоксидантного ряда. Увеличение значения АОА составило 15,3 % по отношению к контролю для образца, полученного при использовании 3-го режима УЗВ и 13,6 % – второго.

Полученные результаты могут способствовать разработке универсальной технологии экстракции физиологически ценных ингредиентов (биологически активных веществ) с использованием эффектов ультразвуковой обработки (кавитации). Дальнейшие исследования позволят выявить стандартизированные параметры ведения технологических процессов экстрагирования на основе использования ультразвука и разработать ресурсоэффективную технологию экстракции, применимую для пищевых производств.

Литература

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 598 «О совершенствовании государствен-

ной политики в сфере здравоохранения» // Система ГАРАНТ. – <http://base.garant.ru>.

2. Маюрникова, Л.А. К вопросу стойкости безалкогольных напитков / Л.А. Маюрникова, Г.А. Гореликова, А.Ю. Игнатова, В.М. Позняковский // Проблемы переработки сельскохозяйственной продукции и лекарственного сырья: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 1998. – С. 35–37.

3. Науменко, Н.В. Возможности использования биотехнологий при производстве пищевых продуктов / Н.В. Науменко // Актуальная биотехнология. – 2013. – № 2 (5). – С. 14–17.

4. Нилова, Л.П. Управление ассортиментом продовольственных товаров для ликвидации дисбаланса структуры питания населения России / Л.П. Нилова // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. – 2014. – № 1. – С. 64–70.

5. Потороко, И.Ю. К вопросу обеспечения качества и безопасности воды, используемой в пищевых производствах / И.Ю. Потороко, Р.И. Факуллин, И.В. Калинина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2013. – Т. 7, № 1. – С. 165–169.

6. Потороко, И.Ю. Государственная политика России в области продовольственной безопасности и безопасности пищевых продуктов. Современное состояние вопроса / И.Ю. Потороко, Н.В. Попова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2009. – № 21 (154). – С. 92–98.

7. Потороко, И.Ю. Современные подходы

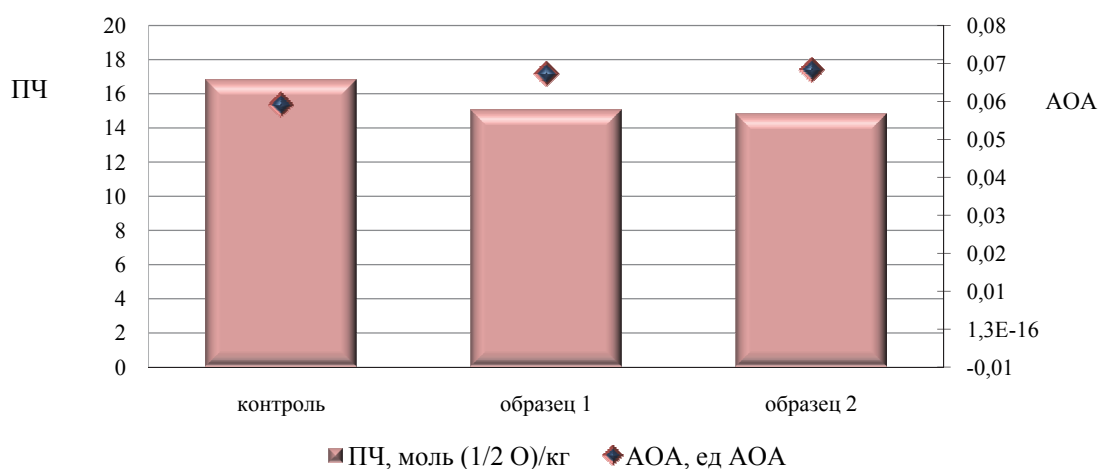


Рис. 2. Результаты определения АОА образцов экстрактов

и методы интенсификации процессов пищевых производств / И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретова, Л.А. Цирульниченко // Товаровед продовольственных товаров. – 2014. – № 1. – С. 41–45.

8. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности России на период до 2020 г. Распоряжение Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. № 559-р.

9. Шестаков, С.Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков. – М.: ЕВА-пресс, 2001.

10. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.

11. Эльпинер, И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / И.Е. Эльпинер. – М.: ИФ-МЛ, 1963.

12. Янсон, В.А. Напитки из растительного сырья общего и профилактического действия / В.А. Янсон // Сборник НИИ «Пищевая промышленность», 1999. – № 1. – С. 25–26.

13. Dezhkunov N.V. et al. Enhancement of sonoluminescence emission from a multibubble

cavitation zone // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2000. – № 7. DOI: 10.1016/S1350-4177(99)00023-1

14. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S. and Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel // *Applied Physics Research*. – V. 4, 1, pp. 19–29, February 2012. DOI: 10.5539/apr.v4n1p19

15. Functional food in Europe. *Food Engineering International*. Feb. 1999. – <http://www.broste.com/food/lib/Functional-Food.htm>.

16. Margulis M.A. *Sonochemistry and Cavitation*. – London: Gordon & Breach, 1995.

17. Rnorr D. Functional food science in Europe // *Trends in Food Science and Technology*. – 9. – P. 295–400.

18. Suzuki J., Katsuki J., Ogawa H., Matsuoto H. Concentration of inorganic anions in bottled drinking water / *J. Food Hyg. Soc. Japan*. – 2000. – Vol. 41, № 5. – P. 340–345. DOI: 10.3358/shokueishi.41.340

19. Young, F.R. *Cavitation* / F.R. Young. – London, U.K.: Imperial College Press, 1999. – 418 p.

Калинина Ирина Валерьевна. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), i_kalinina79@inbox.ru.

Фаткуллин Ринат Ильгидарович. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), 5792687@mail.ru.

Поступила в редакцию 4 февраля 2016 г.

IMPLEMENTATION OF EFFECTS OF ULTRASONIC CAVITATION INFLUENCE AS A FACTOR OF INTENSIFICATION OF EXTRACTION OF FUNCTIONAL ELEMENTS

I.V. Kalinina, R.I. Fatkullin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article dwells on the use of new approaches to the processes of extraction of biologically active substances from plant material. The authors confirm the relevance of the research in terms of the need to find effective extraction technologies of physiologically valuable (functional) ingredients of berry raw materials and energy- and resource-saving technologies. The study of these issues is consistent with the basic long-term strategies for the development of food and food processing industry of the Russian Federation set out in the basic legislative and legal documents. The authors focus their attention on finding modes of ultrasonic cavitation allowing to intensify the extraction process as a whole and to ensure maximum recovery of a number of polyphenolic compounds including tannins which reveal vitamin activity and antioxidant properties. The article provides an overview of the achievements of the world's scientists in the application of ultrasonic cavitation for different areas of food industry. It covers the basics of ultrasonic cavitation, its possible effects, and their application prospects. The resulting study data is explained from the standpoint of theoretically recognized effects, as well as most probable assumptions of ultrasound exposure mechanism on extraction processes. Results presented in the article can be of both theoretical interest for the study of ultrasonic cavitation effect and practical value for food processing industry as the possibility of the development and implementation of advanced technological approaches and solutions. The authors also present the possible future prospects of initiated studies, their development, and application.

Keywords: ultrasound cavitation influence, extraction, biologically active substances.

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 7 maya 2012 g. № 598 "O sovershenstvovanii gosudarstvennoy politiki v sfere zdavoookhraneniya" [Decree of the President of the Russian Federation as of May 7, 2012 No. 598 "On improvement of state policy in the sphere of healthcare"]. GARANT System. Available at: <http://base.garant.ru>.
2. Mayurnikova L.A., Gorelikova G.A., Ignatova A.Yu., Poznyakovskiy V.M. [To the Question of Persistence of Soft Drinks]. *Problemy pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produkcii i lekarstvennogo syr'ya: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of Processing of Agricultural Products and Medicinal Raw Materials: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Penza, 1998, pp. 35–37. (in Russ.)
3. Naumenko N.V. [Possibilities of Using Biotechnology in Food Production]. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Current Biotechnology], 2013, no. 2 (5), pp. 14–17. (in Russ.)
4. Nilova N.P. [Administration of Assortment of Food Commodities for Liquidation of Disbalance of the Structure of Nutrition of Population of Russia]. *Problemy ekonomiki i upravleniya v ekonomike i promyshlennosti* [Economics and Management Problems in Economics and Industry], 2014, no. 1, pp. 64–70. (in Russ.)
5. Potoroko I.Y., Fatkullin R.I., Kalinin I.V. Quality and Safety Control of the Water Used in Food Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 165–169. (in Russ.)
6. Potoroko I.Yu., Popova N.V. *Gosudarstvennaya politika Rossii v oblasti prodovol'stvennoy bezopasnosti i bezopasnosti pishchevykh produktov. Sovremennoe sostoyanie voprosa* [State Policy of Russia in the Field of Food Safety and Safety of Foodstuff. Modern Condition of the Question]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2009, no. 21 (154), pp. 92–98. (in Russ.)
7. Potoroko I.Yu., Kretova Yu.I., Tsiurulnichenko L.A. [Modern Approaches and Methods of Intensification of Food Production Processes]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov* [Goods manager of food products], 2014, no. 1, pp. 41–45. (in Russ.)

8. *Strategiya razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii na period do 2020 g. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17 aprelya 2012 g. № 559-r* [Development Strategy of Food and Food Processing Industry in Russia for the Period Till 2020].
9. Shestakov S.D. *Osnovy tekhnologii kavitatsionnoy dezintegratsii* [Fundamentals of Technology of Cavitation Disintegration]. Moscow, EVA-press Publ., 2001.
10. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and Equipment for Processing of Food Environment Using Cavitation Disintegration]. Moscow, GIORD Publ., 2013. 152 p.
11. El'piner I.E. *Ul'trazvuk. Fiziko-khimicheskoe i biologicheskoe deystvie* [Ultrasound. Physical, Chemical, and Biological Effects]. Moscow, 1963.
12. Yanson V.A. [Drinks from Vegetable Raw Materials and of General Preventive Action]. *Sbornik NII «Pishchevaya promyshlennost'»* [Collection of the Scientific and Research Institute "Food Industry"], 1999. no. 1, pp. 25–26.
13. Dezhkunov N.V. et al. Enhancement of sonoluminescence emission from a multibubble cavitation zone. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2000, no. 7. DOI: 10.1016/S1350-4177(99)00023-1
14. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S. and Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel. *Applied Physics Research*, vol. 4, 1, pp. 19–29, February 2012. DOI: 10.5539/apr.v4n1p19
15. Functional food in Europe. Food Engineering International. Feb. 1999. Available at: <http://www.broste.com/food/lib/FunctionalFood.htm>.
16. Margulis M.A. *Sonochemistry and Cavitation*. London, Gordon & Breach, 1995.
17. Rnorr D. Functional food science in Europe. *Trends in Food Science and Technology*, v. 9, pp. 295–400.
18. Suzuki J., Katsuki J., Ogawa H., Matsumoto H. Concentration of inorganic anions in bottled drinking water. *J. Food Hyg. Soc. Japan*, 2000, vol. 41, no. 5, pp. 340–345. DOI: 10.3358/shokueishi.41.340
19. Young F.R. *Cavitation*. London, U.K., Imperial College Press, 1999. 418 p.

Kalinina Irina Valer'evna, Ph.D., associate professor of “Expertise and quality control of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), i_kalinina79@inbox.ru.

Fatkullin Rinat Il'gidarovich, Ph.D., associate professor of “Expertise and quality control of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), 5792687@mail.ru.

Received 4 February 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Калинина, И.В. Применение эффектов ультразвукового кавитационного воздействия как фактора интенсификации извлечения функциональных ингредиентов / И.В. Калинина, Р.И. Фаткуллин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 64–70. DOI: 10.14529/food160108

FOR CITATION

Kalinina I.V., Fatkullin R.I. Implementation of Effects of Ultrasonic Cavitation Influence as a Factor of Intensification of Extraction of Functional Elements. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 64–70. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160108