



Зависимость поверхностного натяжения фруктовых пюре от температурного воздействия

© 2021. А. К. Пацюк, Т. В. Федосенко, В. В. Кондратенко, М. В. Лукьяненко ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, г. Видное, Московская область, Российская Федерация

При разработке продуктов питания, обладающих новыми свойствами, с применением инновационных технологий важным является получение данных о физико-химических, теплофизических и структурно-механических свойствах обрабатываемых пищевых сред. Так, одной из ключевых составляющих при подборе режима коллапсирующей ультразвуковой кавитации является поверхностное натяжение растительных пюре. В работе представлены данные исследования (2020 год) по влиянию температуры на коэффициент поверхностного натяжения фруктового пюре разной вязкости. Объектами исследований выбраны алычовое, грушевое и яблочное пюре, объединённые в ряд по вязкости. Коэффициент поверхностного натяжения определяли сталагмометрическим методом, для чего пюре предварительно центрифугировали. Измерения проводили при температурах 25 и 35 °С. Установлено, что при равных условиях центрифугирования доля супернатанта у грушевого пюре заметно выше – 77,37 % к массе пюре по сравнению с алычовым (67,20 %) и яблочным (52,75 %). Этот факт может объясняться наличием в первом каменных клеток, образующих несжимаемый осадок, позволяющий в большей степени разделить дисперсную фазу (осадок) и дисперсионную среду (супернатант). Установлено, что коэффициент поверхностного натяжения фруктовых пюре, несмотря на незначительное отличие, уменьшается с увеличением температуры. Анализ крутизны наклона кривой, характеризующей влияние температуры на коэффициент поверхностного натяжения, показал, что стабилизация температуры при технологической обработке в большей степени потребуется для грушевого пюре.

Ключевые слова: натуральное фруктовое пюре, вязкость, температура, коэффициент поверхностного натяжения

Благодарности: статья профинансирована Министерством науки и высшего образования РФ и подготовлена в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» (тема FNEN-20219-00015).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пацюк Л. К., Федосенко Т. В., Кондратенко В. В., Лукьяненко М. В. Зависимость поверхностного натяжения фруктовых пюре от температурного воздействия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):907-917. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.907-917>

Поступила: 04.08.2021

Принята к публикации: 23.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Dependence of surface tension of fruit puree on temperature exposure

© 2021. Lyubov K. Patsyuk, Tatiana V. Fedosenko, Vladimir V. Kondratenko, Maria V. Lukyanenko ✉

Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems at RAS, Vidnoe, Moscow region, Russian Federation

When developing food products with new properties using innovative technologies, it is important to obtain data on the physicochemical, thermal-physical and structural-mechanical properties of the processed food media. So, one of the key components in the selection of the mode of collapsing ultrasonic cavitation is the surface tension of vegetable purees. The paper presents research data (2020) on the effect of temperature on the surface tension coefficient of fruit puree of different viscosity. The objects of research are cherry plum, pear and apple puree, combined in a row by viscosity. The surface tension coefficient was determined by the stalagmometric method, for which the puree was preliminarily centrifuged. The measurements were carried out at temperatures of 25 and 35 °C. It was found that, under equal conditions of centrifugation of puree, the proportion of supernatant in pear puree is noticeably higher – 77.37 % to the weight of puree in comparison with cherry plum puree (67.20 %) and apple puree (52.75 %). This fact can be explained by the presence of stony cells in the former which form an incompressible sediment, which allows a greater separation of the dispersed phase (sediment) and the dispersion medium (supernatant). It was found that the coefficient of surface tension of fruit purees, despite the slight difference, decreases with increasing temperature. Analysis of the steepness of the slope of the curve characterizing the effect of temperature on the surface tension coefficient showed that temperature stabilization during technological processing is more required for pear puree.

Keywords: natural fruit puree, viscosity, temperature, surface tension coefficient

Acknowledgements: The research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at RAS (theme FNEN-20219-00015).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Patsyuk L. K., Fedosenko T. V., Kondratenko V. V., Lukyanenko M. V. Dependence of surface tension of fruit puree on temperature exposure. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):907-917. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.907-917>

Received: 04.08.2021

Accepted for publication: 23.11.2021

Published online: 15.12.2021

Создание инновационных технологий и оборудования для разработки и внедрения новых видов пищевой продукции требует в полной мере использовать комплекс закономерностей теплофизических, физико-химических и структурно-механических параметров обрабатываемых систем в применяемых условиях [1].

Особую актуальность в настоящее время приобретает применение физических методов воздействия на пищевые системы, приводящие к модификации физико-химических свойств полупродуктов и готовых продуктов [2, 3]. К физическим методам воздействия на пищевые системы, способствующим появлению новых свойств последних, с успехом можно отнести и ультразвуковую кавитацию. Для обеспечения воспроизводимости свойств пищевых систем, прошедших ультразвуковую обработку (кавитацию), необходимо управлять обратной связью (откликом) пищевой системы на направляемое в её адрес ультразвуковое воздействие. На этом этапе появляется необходимость получения данных о свойствах обрабатываемой среды, таких как теплопроводность, плотность, вязкость, дисперсность, поверхностное натяжение.

Среди ключевых факторов, влияющих на эффективность работы ультразвуковой кавитации при обработке пищевых сред, можно отметить коэффициент поверхностного натяжения [4, 5]. Ввиду того, что этот фактор зависит от температуры обрабатываемой среды, важное значение приобретает установление характера этой зависимости. Установлено, что при увеличении температуры с 20 до 30 °С коэффициент поверхностного натяжения молочных продуктов, например сливок, резко снижается, по достижении 50 °С он стабилизируется, а при дальнейшем нагревании вновь происходит его резкое уменьшение. При этом на величину поверхностного натяжения оказывает влияние и жирность сливок: чем выше жирность, тем выше поверхностное натяжение, тем в меньшей степени влияет на этот показатель изменение температуры [6].

При исследованиях теплофизических свойств фруктовых соков в Азербайджанском государственном экономическом университете была установлена прямая зависимость коэффициента поверхностного натяжения гранатового сока от температуры нагревания и концентрации сухих веществ в нём [7]. Кроме того, экспериментальным путем подтверждена линейная зависимость коэффициента поверхностного натяжения от плотности гранатового сока, что позволяет вывести математическую формулу, по которой может быть рассчитан коэффициент поверхностного натяжения в зависимости от плотности [8].

Известны исследования, проводимые в Кемеровском технологическом университете пищевой промышленности по определению теплофизических свойств (плотность, вязкость, коэффициент поверхностного натяжения) водных экстрактов из ягод: клюквы, рябины, боярышника, голубики, шиповника. По полученным данным описаны математические зависимости между поверхностным натяжением и температурой нагревания, исходя из которых могут быть рассчитаны необходимые энергозатраты и с их учетом разработано оборудование для экстракции сырья [9, 10].

При трёхступенчатом добавлении сахара в виноградное сусло в процессе брожения установлено, что на поверхностное натяжение оказывает влияние содержание объемной доли спирта и количество добавляемого сахара. Чем они больше, тем ниже поверхностное натяжение [11, 12]. Влияние присутствия в исследуемых средах поверхностно активных веществ показано и в работах [13, 14].

Исследований о влиянии температуры на коэффициент поверхностного натяжения жидкообразных пищевых сред, таких как пюре из фруктов и овощей, не так много, что не позволяет в полной мере прогнозировать изменение их физико-химических показателей при технологической обработке [15, 16, 17].

Цель исследований – определение коэффициента поверхностного натяжения в экспериментальных образцах фруктовых пюре в зависимости от температуры нагревания для дальнейшего применения при определении оптимального режима коллапсирующей ультразвуковой кавитации.

Новизна исследований состоит в определении степени влияния нагревания различных фруктовых пюре в процессе обработки ультразвуковой кавитацией в режиме создания коллапса с целью обеспечения её стабильности.

Материал и методы. Исследования выполнены в 2020 г. В качестве объектов исследования выбраны монокомпонентные натуральные фруктовые пюре: алычовое, грушевое, яблочное. Пюре изготовлены на оборудовании лабораторного технологического стенда по классической технологии. Визуально объекты исследований различались следующим образом: алычовое пюре – наименее вязкое, яблочное – наиболее вязкое, грушевое – среднее по вязкости.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения пюре подвергали предварительной подготовке: из образцов удаляли

дисперсную фазу центрифугированием в течение 20 минут с фактором разделения 8000g для исключения ограниченной текучести. Супернатант фильтровали через складчатый беззольный фильтр «красная лента». Для образцов фильтрата определяли коэффициент поверхностного натяжения стагмометрическим методом¹ в сравнении с водой. Плотность пюре устанавливали пикнометрическим методом². Для определения влияния температуры на величину поверхностного натяжения образцы нагревали на водяной бане до 25 и 35 °С, затем переносили в измерительную бюретку. Фактическое значение температуры образцов на момент измерения контролировали с помощью предварительно калиброванного пирометра Optiris MS (Optiris, Китай) в области выхода капель образца.

Результаты и их обсуждение. На этапе предварительной подготовки при центрифугировании образцов наблюдался разный выход супернатанта (табл. 1), так у грушевого пюре этот показатель в сравнении с другими исследуемыми объектами максимален и составил 77,37 %, что может объясняться строением тканей плода груши (рис. 1)³.

Таблица 1 – Выход супернатанта при центрифугировании фруктовых пюре / Table 1 – Supernatant yield during centrifuging fruit purees

Наименование пюре / Name of puree	Средняя масса, г / Average weight, g		Выход супернатанта, % к массе образца / Supernatant yield, % by weight of the sample	Массовая доля сухих веществ (растворимых), % / Mass fraction of dry substances (soluble), %
	пюре / puree	фильтрата / filtrate		
Алычовое (наименее вязкое) / Cherry plum (least viscous)	48,07	32,30	67,20	9,5
Грушевое (среднее по вязкости) / Pear (average viscosity)	47,13	36,47	77,37	14,5
Яблочное (наиболее вязкое) / Apple (most viscous)	47,11	24,85	52,75	9,6

Наличие каменистых клеток в плодах груши позволяет в большей степени разделить дисперсную фазу (твёрдый осадок) от дисперсионной среды (супернатант), о чём, в том числе, свидетельствует и высокое содержание растворимых сухих веществ – 14,5 %.

Низкий выход супернатанта при центрифугировании у яблочного пюре – 52,75 % может объясняться составом мякоти плода

яблока. В разных сортах яблок может содержаться от 0,62 % (Грушевка московская) до 1,18-1,44 % (Ренет Симиренко) пектиновых веществ [18, 19], что при той же центробежной силе не позволяет в полной мере разделить дисперсную фазу от дисперсионной среды. В плодах груши сумма пектиновых веществ достигает 0,64-0,98 % [20, 21].

¹Miller R., Fainerman V. The drop volume technique. In: Drops and Bubbles in Interfacial Research. Amsterdam, New York: Elsevier, 1998. Pp. 139-186.

²ГОСТ 33276-2015. Продукция соковая. Методы определения относительной плотности. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122905>

³Оболочка растительной клетки. [Электронный ресурс]. URL: http://e-lib.gasu.ru/eposobia/papina/bolprak/R_2_3.html (дата обращения: 22.07.2021).

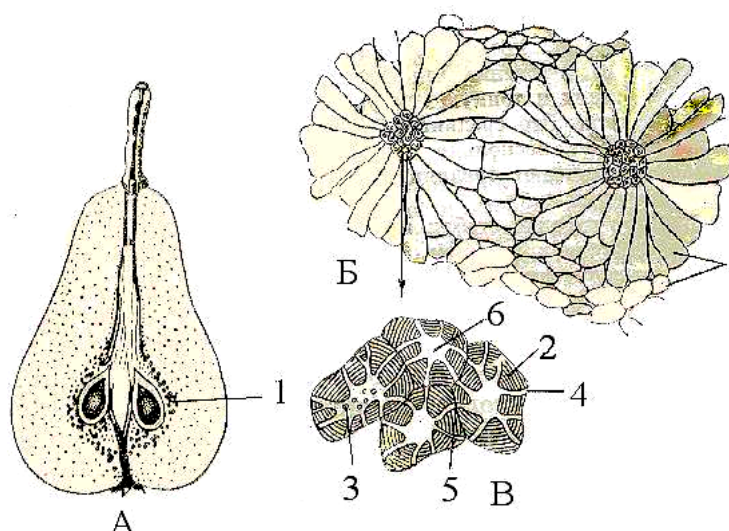


Рис. 1. Каменистые клетки плода груши обыкновенной⁴: А – плод груши (продольный разрез); Б – каменистые клетки при малом увеличении; В – при большом увеличении; 1 – паренхимные клетки мякоти, 2 – оболочка клетки, 3 – простая пора в плане, 4 – простая пора в разрезе, 5 – связь между порами соседних клеток, 6 – полость клетки /

Fig. 1. Stony fetal cells *Pyrus communis*: А – pear fruit (longitudinal section); Б – stony cells at low magnification; В – at high magnification; 1 – parenchymal cells of the pulp, 2 – cell membrane, 3 – simple pore in plan, 4 – simple pore in section, 5 – connection between the pores of neighboring cells, 6 – cell cavity

У алычового пюре содержание сухих веществ в супернатанте практически равно яблочному, но выход его выше на 14,45 % и составляет 67,20 %. Как и в двух предыдущих видах фруктов, в алыче содержатся пектиновые вещества в количестве от 0,75 % (сорт Никитская жёлтая) до 1,10 % (сорт Идиллия) [22].

В данном случае такое различие в выходе супернатанта может объясняться меньшим содержанием углеводов в пюре (табл. 2).

Разница консистенции осадков фруктовых пюре заметна и при визуальном наблюдении (рис. 2).

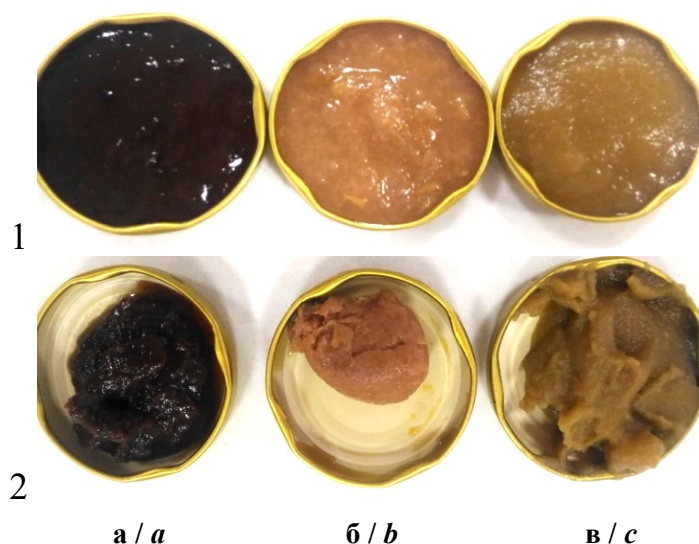


Рис. 2. Консистенция фруктовых пюре в зависимости от вида: 1 – до центрифугирования, 2 – после центрифугирования: а – алычовое, б – грушевое, в – яблочное /

Fig. 2. The consistency of fruit purees, depending on the type: 1 – before centrifugation, 2 – after centrifugation: а – cherry plum, б – pear, в – apple

⁴Там же.

Таблица 2 – Химический состав 100 г нативных фруктовых пюре⁵ /
Table 2 – Chemical composition of 100 g of native fruit purees

Наименование компонента / Component name	Наименование пюре / Name of puree		
	алычовое / cherry plum	грушевое / pear	яблочное / apple
Углеводы, г / Carbohydrates, g	9,70	10,80	10,80
Пищевые волокна, г / Dietary fiber, g	1,80	3,60	1,70
Сахара, г / Sugar, g	7,80	6,98	9,87
Минералы / Minerals			
К, мг / mg	188,00	130,00	71,00
Ca, мг / mg	27,00	8,00	4,00
Mg, мг / mg	21,00	8,00	3,00
Na, мг / mg	17,00	1,00	-
P, мг / mg	25,00	12,00	7,00
Fe, мг / mg	1,90	0,24	0,22
Cu, мг / mg	-	0,07	0,04
Se, мкг / mcg	-	0,40	0,30
F, мкг / mcg	-	1,00	1,00
Zn, мкг / mcg	-	0,08	0,02
Витамины / Vitamins			
Бета-каротин, мкг / Beta-carotene, mcg	-	9,00	12,00
Бета-криптоксантин, мкг / Beta-cryptoxanthin, mcg	160,00	1,00	9,00
Лютеин и зеаксантин, мкг / Lutein and zeaxanthin, mcg	-	36,00	17,00
E, мг / mg	0,30	0,09	0,60
K, мкг / mcg	-	3,20	0,50
C, мг / mg	13,00	24,50	38,30
B ₁ , мг / mg	0,02	0,01	0,01
B ₂ , мг / mg	0,03	0,03	0,03
B ₅ , мг / mg	-	0,09	0,11
B ₆ , мг / mg	-	0,01	0,03
B ₉ , мкг / mcg	-	4,00	2,00
Фолаты природные, мкг / Natural folates, mcg	-	4,00	2,00
Фолаты ДЭФ, мкг / Folate DEF, mcg	-	4,00	2,00
PP, мг / mg	0,50	0,19	0,06
B ₄ , мг / mg	-	3,60	3,40

Анализируя рисунок 2, можно предположить, что в реальных условиях при кавитационной обработке фруктовых пюре консистенция дисперсной фазы может влиять на поверхностное натяжение дисперсионной среды. Возможно, в большей степени это будет оказывать заметное влияние именно в грушевом пюре, так как наличие каменистых клеток,

образующих так называемый несжимаемый осадок, создаст дополнительную активизацию диспергирования при ультразвуковой кавитации, эффективность которой при обработке алычового и яблочного пюре с целью их диспергирования может быть заметно ниже ввиду наличия пектиновых веществ, образующих аморфный осадок при центрифугировании.

⁵Химический состав фруктовых пюре. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intelmeal.ru/nutrition/foodinfo-babyfood-fruit-applesauce-strained.php> (дата обращения: 22.07.2021).

Дальнейшие исследования проводили с фильтратом дисперсионной среды. Ввиду отклонения фактической температуры исследуемых образцов при проведении измерений по повторностям, результаты эксперимен-

тальных данных были усреднены как по значениям активного фактора (температуры), так и по значениям коэффициента поверхностного натяжения (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние температуры фруктовых пюре на коэффициент поверхностного натяжения / Table 3 – Effect of the temperature of fruit purees on the surface tension coefficient

Наименование пюре / Name of puree	Температура, °C / Temperature, °C		Коэффициент поверхностного натяжения, $\times 10^{-3}$ Н/м / Surface tension coefficient, $\times 10^{-3}$ N/m	
	среднее / medium	$\pm SD^*$	среднее / medium	$\pm SD^*$
Алычовое / Cherry plum	24,00	0,00	132,00	0,00
	34,30	4,95	127,00	2,83
Грушевое / Pear	22,15	0,07	145,00	14,14
	32,58	1,06	137,00	4,24
Яблочное / Apple	22,60	0,00	151,50	0,71
	32,00	2,12	149,50	0,71

* SD – стандартное отклонение / * SD – standard deviation

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать вывод о том, что с повышением температурного воздействия во всех экспериментальных образцах коэффициент поверхностного натяжения уменьшается, что согласуется с существующими представлениями о влиянии температурного воздействия на поверхностное натяжение жидкости. Для применения указанного влияния на практике, на наш взгляд, более важным, с точки зрения научного интереса, являются количественные характеристики этого влияния.

По химическому составу фильтраты фруктовых пюре, как и все растительные полуфабрикаты, являются многокомпонентными системами, в составе которых органические кислоты, минеральные соединения, витамины, растворимые пищевые волокна, сахара и другие. Это обстоятельство затрудняет применение уравнения, предложенного Л. Этвёшем⁶. Для описания зависимости коэффициента поверхностного натяжения использована формула [23, 24]:

$$\sigma = \sigma_0 * \left(1 - \frac{T}{T_{cr}}\right)^{11/9}, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; σ_0 – критическое значение σ (при

критической температуре), Н/м; T – температура, °C; T_{cr} – критическая температура, °C; $11/9$ – учитывает отталкивание молекул органических веществ на близких расстояниях из-за наличия «собственного объёма».

Так как формула (1) является модификацией линейного уравнения, для построения зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры достаточно двух усреднённых значений при разных температурах.

На рисунке 3 представлено графическое отображение зависимости коэффициента поверхностного натяжения объектов исследования (алычового, грушевого, яблочного пюре) от температурного воздействия.

Анализ отклика исследуемых объектов может быть произведён по критическому значению коэффициента поверхностного натяжения (σ_0), критической температуре (T_{cr}) и крутизне наклона кривой ($|tg \alpha|$), которая может быть выражена формулой:

$$|tg \alpha| = \frac{11 \cdot \sigma_0}{9 \cdot T_{cr}} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_{cr}}\right)^{2/9}. \quad (2)$$

Расчётные значения показателей сведены в таблицу 4.

⁶Марков И. И., Хрынина Е. И., Камениченко Е. И., Иванов М. Н. О характере температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения жидкой фазы. Журнал физической химии. 2008;82(6):1196-1200. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10008448>

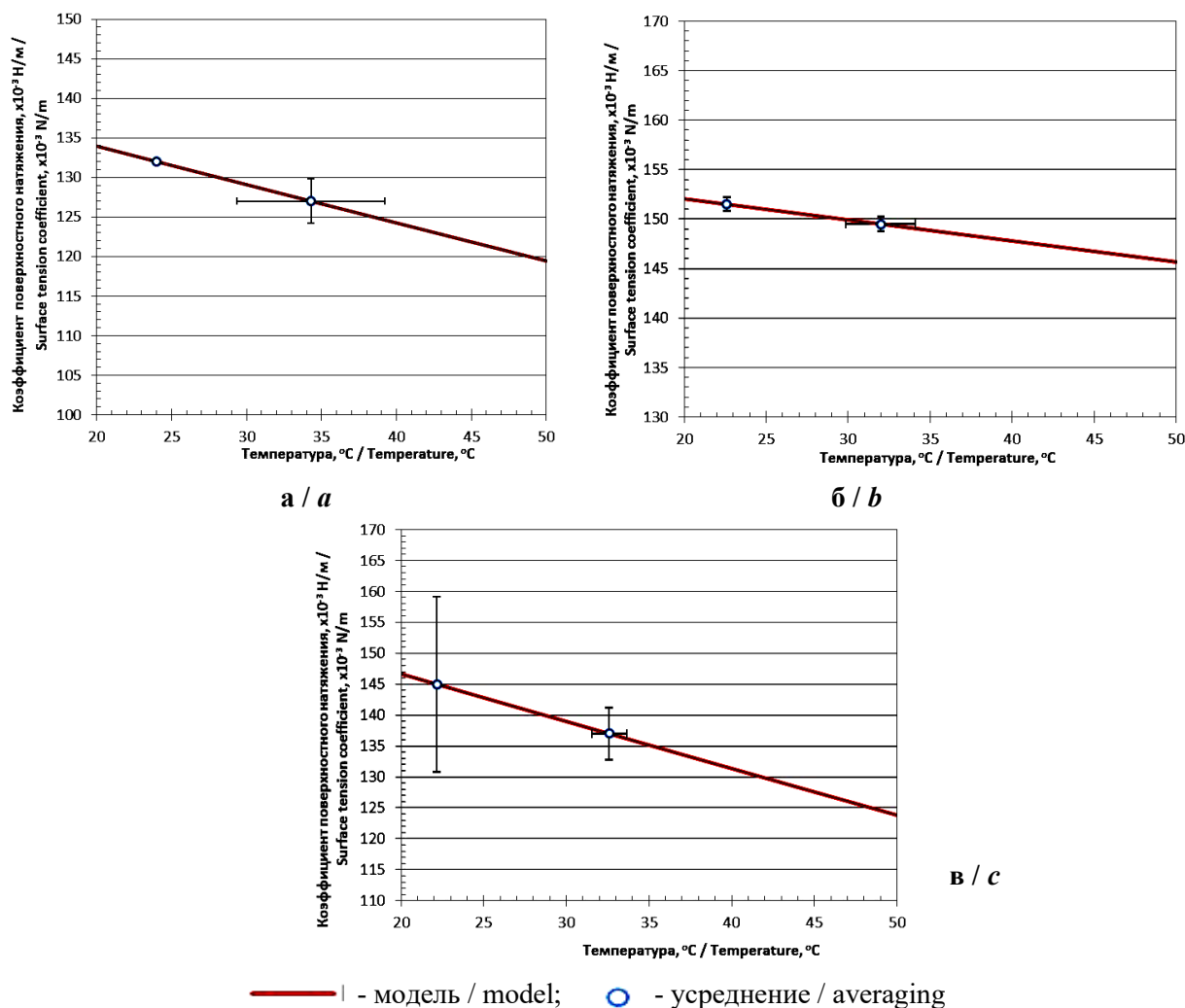


Рис. 3. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры пюре: а – алычового; б – яблочного; в – грушевого /

Fig. 3. Dependence of the surface tension coefficient on the temperature of puree: a – cherry plum; б – apple; в – pear

Таблица 4 – Критические показатели зависимости коэффициента поверхностного натяжения фруктовых пюре от температуры /

Table 4 – Critical Indicators of the Temperature Dependence of the Surface Tension Coefficient of Fruit Purees

Наименование пюре / Name of puree	Показатель температурной зависимости / Temperature dependence indicator		$ \text{tg } \alpha _{20}$
	$\sigma_0, \times 10^{-3} \text{ Н/м} / \sigma_0, 10^{-3} \text{ N/m}$	$T_{cr}, ^{\circ}\text{C}$	
Алычовое / Cherry plum	143,78	355,2	0,4871
Грушевое / Pear	162,26	252,0	0,7710
Яблочное / Apple	156,33	891,8	0,2130

Примечания: σ_0 – критическое значение коэффициента поверхностного натяжения, T_{cr} – критическая температура, $|\text{tg } \alpha|_{20}$ – крутизна наклона кривой /

Notes: σ_0 – critical value of the surface tension coefficient, T_{cr} – critical temperature, $|\text{tg } \alpha|_{20}$ – slope of the curve

Из данных таблицы 4 видно, что по критическому значению коэффициента поверхностного натяжения (σ_0) яблочное и грушевое пюре достаточно близки. По реперной темпе-

ратуре и крутизне наклона кривой все три вида пюре имеют заметные отличия. Стоит отметить, что яблочное пюре по критической температуре имеет максимальное значение, что

может быть следствием более высокого содержания пектиновых веществ (растворимых пищевых волокон), в то время как пищевые волокна груши могут в большей степени оставаться в осадке при центрифугировании.

Показатель крутизны наклона кривой может характеризовать темп изменения условий для поддержания стабильного технологического режима, в том числе ультразвуковой кавитации. Так, при обработке грушевого пюре, крутизна наклона кривой которого среди представленных объектов имеет максимальное

значение, потребуется чаще других стабилизировать процесс к оптимальным условиям.

Заключение. Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать вывод о том, что коэффициент поверхностного натяжения фруктовых пюре уменьшается с увеличением температуры. Анализ крутизны наклона кривой, характеризующей влияние температуры на коэффициент поверхностного натяжения, показал, что стабилизация температуры при технологической обработке в большей степени необходима для грушевого пюре.

Список литературы

1. Петров А. Н., Шишкина Н. С., Пацюк Л. К., Алабина Н. М., Борченкова Л. А., Глазков С. В. Получение новых видов продуктов с применением кавитационной обработки. Холодильная техника. 2017;(8):54-59. Режим доступа: http://www.holodtekh.ru/wp-content/uploads/xt_08_17.pdf
2. Пацюк Л. К., Федосенко Т. В., Кондратенко В. В. Изучение автономного процесса инверсии сахара за счёт термического воздействия при ультразвуковой обработке овощных и фруктовых пюре. Овощи России. 2020;(5):93-96. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-93-96>
3. Духу Т. А., Щербакова Н. А., Остапенкова Н. А., Савенкова Т. В., Аксёнова Л. М. Новые физические способы обработки кондитерских масс. Принципы пищевой комбинаторики – основа моделирования поликомпонентных пищевых продуктов: сб. мат-лов Всерос. научн. практич. конф. Углич: ВНИИ КП, 2010. С. 85-87.
4. Savenkova T. V., Karimov A. R., Taleysnik M. A., Gerasimov T. V., Kondratyev N. B. Mechanisms of destruction and synthesis of liquid media, used in the food industry under non-equilibrium conditions. Food systems. 2019;2(4):38-41. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-38-41>
5. Хмелёв В. Н., Шалунов А. В., Голых Р. Н., Шалунова А. В. Выявление оптимальных режимов и условий ультразвукового воздействия для распыления вязких жидкостей. Электронный журнал «Техническая акустика». 2011;10. Режим доступа: <http://www.ejta.org/en/khmelev9>
6. Бурыкин А. И. Поверхностное натяжение молочных продуктов. Молочная промышленность. 2012;(5):22-23. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17675078>
7. Магеррамов М. А. Теплофизические свойства натурального гранатового сока. Хранение и переработка сельхозсырья. 2005;(4):27.
8. Магеррамов М. А. Температуропроводность и поверхностное натяжение гранатового сока при температурах 10-90 °С. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2006;(5(294)):68-71. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12857537>
9. Сорокопуд В. В., Плотников И. Б., Плотникова Л. В. Теплофизические характеристики водных и водно-спиртовых экстрактов ягод клюквы и голубики. Химия растительного сырья. 2014;(3):255-258. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22884310>
10. Суменков М. В., Сорокопуд А. Ф. Физико-химические свойства экстрактов ягод клюквы. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2016;(1):118-125. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2016-9-1-118-125>
11. Бурда В. Е., Панов Д. А. Изменение химического состава ликёра в процессе ступенчатого приготовления. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. 2012;25(64)(2):219-223. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25135645>
12. Бурда В. Е., Панов Д. А. Изменение физико-химических свойств виноградных сусел при поэтапном приготовлении резервуарных ликеров. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. 2013;26(65)(2):206-210. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25005399>
13. Асадов А. Ш. Изучение влияния температуры на поверхностное натяжение водных растворов поверхностно активных веществ (ПАВ). Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018;(7):22-24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35199466>
14. Григорьев Б. В., Вагин Д. А., Кузина О. А. Влияние концентрации ПАВ водных растворов и температуры на коэффициент поверхностного натяжения. Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016;2(3):35-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28351950>

15. Мордасов М. М., Савенков А. П., Чечетов К. Е. Методика исследования взаимодействия струи газа с поверхностью жидкости. Журнал технической физики. 2016;86(5):20-29.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27368395>
16. Муратова Е. И., Смолихина П. М. Реология кондитерских масс. Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 188 с.
17. Karbowiak T., Debeaufort F., Voilley A. Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2006;46(5):391-407. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390591000884>
18. Табаторович А. Н., Резниченко И. Ю. Особенности химического состава яблочного пюре как основа идентификации. Техника и технология пищевых производств. 2015;(3(38)):153-159.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24249176>
19. Кварацхелия В. Н., Родионова Л. Я. Изменение аналитических характеристик пектиновых веществ яблок зимнего срока созревания при длительном влиянии низких температур. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014;(100):1193-1203.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21799479>
20. Смелик Т. Л., Можар Н. В., Авдеева Ю. В. Химический состав плодов груши, произрастающей на Юге Краснодарского края. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2014;(28(4)):8-17.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21732027>
21. Созаева Д. Р., Джабоева А. С., Шаова Л. Г., Цагоева О. К. Содержание пектинов в различных видах плодовых культур и их физико-химические свойства. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016;(2):170-174. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26774425>
22. Гребенникова О. А., Полонская А. К., Горина В. М., Ежов В. Н. Биохимическое обоснование перспективных направлений использования плодов алычи. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2007;(95):69-74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24293749>
23. Guggenheim E. A. The Principle of Corresponding States. J. Chem. Phys. 1945;(13):253-261.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1724033>
24. Mjalli F. S., Vakili-Nezhaada Gh., Shahbaz K., AlNashef I. M. Application of the Eötvös and Guggenheim empirical rules for predicting the density and surface tension of ionic liquids analogues. Thermochimica Acta. 2014;575:40-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.10.017>

References

1. Petrov A. N., Shishkina N. S., Patsyuk L. K., Alabina N. M., Borchenkova L. A., Glazkov S. V. *Poluchenie novykh vidov produktov s primeneniye kavitatsionnoy obrabotki*. [Obtaining of new products using cavitation processing]. *Kholodil'naya tekhnika*. 2017;(8):54-59. (In Russ.). URL: http://www.holodteh.ru/wp-content/uploads/xt_08_17.pdf
2. Patsyuk L. K., Fedosenko T. V., Kondratenko V. V. *Izucheniye avtonomnogo protsessa inversii sakharozy za schet termicheskogo vozdeystviya pri ul'trazvukovoy obrabotke ovoshchnykh i fruktovykh pyure*. [Study of the autonomous process of inversion of sugarose through thermal influence at ultrasonic processing of vegetable and fruit pures]. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2020;(5):93-96. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-93-96>
3. Dukhu T. A., Shcherbakova N. A., Ostapenkova N. A., Savenkova T. V., Aksenova L. M. *Novye fizicheskie sposoby obrabotki konditerskikh mass*. [New physical methods of processing confectionery masses]. *Printsipy pishchevoy kombinatoriki – osnova modelirovaniya polikomponentnykh pishchevykh produktov: sb. mat-lov Vseros. nauchn. praktich. konf.* [Principles of food combinatorics - the basis for modeling polycponent food products: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conf.]. Uglich: VNIKP, 2010. pp. 85-87.
4. Savenkova T. V., Karimov A. R., Taleysnik M. A., Gerasimov T. V., Kondratev N. B. Mechanisms of destruction and synthesis of liquid media, used in the food industry under non-equilibrium conditions. Food systems. 2019;2(4):38-41. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-38-41>
5. Khmelev V. N., Shalunov A. V., Golykh R. N., Shalunova A. V. *Vyyavleniye optimal'nykh rezhimov i usloviy ul'trazvukovogo vozdeystviya dlya raspilyeniya vyazkikh zhidkostey*. [Optimal modes and conditions of ultrasonic effect for atomization of viscous liquids]. *Elektronnyy zhurnal «Tekhnicheskaya akustika»* = Electronic Journal Technical Acoustics. 2011;10. (In Russ.). URL: <http://www.ejta.org/en/khmelev9>
6. Burykin A. I. *Poverkhnostnoye natyazheniye molochnykh produktov*. [Surface tension of milk products]. *Molochnaya promyshlennost'* = Dairy Industry. 2012;(5):22-23. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17675078>
7. Magerramov M. A. *Teplofizicheskie svoystva natural'nogo granatovogo soka*. [Thermophysical properties of natural pomegranate juice]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2005;(4):27. (In Russ.).
8. Magerramov M. A. *Temperaturoprovodnost' i poverkhnostnoye natyazheniye granatovogo soka pri temperaturakh 10-90 °S*. [Thermal diffusivity and surface tension of pomegranate juice at temperatures of 10-90 °C]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = Food Technology. 2006;(5(294)):68-71. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12857537>

9. Sorokopud V. V., Plotnikov I. B., Plotnikova L. V. *Teplofizicheskie kharakteristiki vodnykh i vodno-spirovnykh ekstraktov yagod klyukvy i golubiki*. [Thermal and physical characteristics of aqueous and aqueous-alcoholic extracts of cowberry and blueberry]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2014;(3):255-258. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22884310>
10. Sumenkov M. V., Sorokopud A. F. *Fiziko-khimicheskie svoystva ekstraktov yagod klyukvy*. [Physico-chemical properties of cranberry extract]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»* = Scientific journal NRU ITMO. Series "Processes and Food Production Equipment". 2016;(1):118-125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2016-9-1-118-125>
11. Burda V. E., Panov D. A. *Izmenenie khimicheskogo sostava likera v protsesse stupenchatogo prigotovleniya*. [The chemical composition of liqueur change in the process of step preparation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya, khimiya* = Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry. 2012;25(64)(2):219-223. (In Ukraine). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25135645>
12. Burda V. E., Panov D. A. *Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv vinogradnykh susel pri poetapnom prigotovlenii rezervuarnykh likerov*. [The Changes in the physic-chemical properties of grape musts by a phased reservoir liquor preparation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya, khimiya* = Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry. 2013;26(65)(2):206-210. (In Ukraine). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25005399>
13. Asadov A. Sh. *Izuchenie vliyaniya temperatury na poverkhnostnoe natyazhenie vodnykh rastvorov poverkhnostno aktivnykh veshchestv (PAV)*. [Searching of the influence of temperature on surface tension of water solutions of surface-active substances (SAW)]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2018;(7):22-24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35199466>
14. Grigor'ev B. V., Vazhin D. A., Kuzina O. A. *Vliyanie kontsentratsii PAV vodnykh rastvorov i temperatury na koeffitsient poverkhnostnogo natyazheniya*. [The effect of SAS concentration in the water solution and temperature on the surface tension]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika* = Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy. 2016;2(3):35-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28351950>
15. Mordasov M. M., Savenkov A. P., Chechetov K. E. *Metodika issledovaniya vzaimodeystviya strui gaza s poverkhnost'yu zhidkosti*. [Method for analyzing the gas jet impinging on a liquid surface]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* = Technical Physics. 2016;86(5):20-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27368395>
16. Muratova E. I., Smolikhina P. M. *Reologiya konditerskikh mass*. [Rheology of confectionery masses]. Tambov: *FGBOU VPO «TGTU»*, 2013. 188 p.
17. Karbowiak T., Debeaufort F., Voilley A. Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2006;46(5):391-407. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390591000884>
18. Tabatorovich A. N., Reznichenko I. Yu. *Osobennosti khimicheskogo sostava yablochnogo pyure kak osnova identifikatsii*. [Peculiarities of chemical composition of apple puree as the basis for identification]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2015;(3(38)):153-159. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24249176>
19. Kvaratskheliya V. N., Rodionova L. Ya. *Izmenenie analiticheskikh kharakteristik pektinovykh veshchestv yablok zimnego sroka sozrevaniya pri dlitel'nom vliyatii nizkikh temperatur*. [Changing the analytical characteristics of pectin substances apples winter ripening under long influence of low temperatures]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2014;(100):1193-1203. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21799479>
20. Smelik T. L., Mozhar N. V., Avdeeva Yu. V. *Khimicheskii sostav plodov grushi, proizrastayushchey na Yuge Krasnodarskogo kraya*. [The chemical composition of pear fruits, growing in the south of Krasnodar region]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* = Fruit growing and viticulture of South Russia. 2014;(28(4)):8-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21732027>
21. Sozaeva D. R., Dzhaboieva A. S., Shaova L. G., Tsagoeva O. K. *Soderzhanie pektinov v razlichnykh vidakh plodovykh kul'tur i ikh fiziko-khimicheskie svoystva*. [The pectin content in different types of fruit crops and their physicochemical characteristics]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2016;(2):170-174. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26774425>
22. Grebennikova O. A., Polonskaya A. K., Gorina V. M., Ezhov V. N. *Biokhimicheskoe obosnovanie perspektivnykh napravleniy ispol'zovaniya plodov alychi*. [The biochemical reasons of perspective directions in using the cherry-plum fruits]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens. 2007;(95):69-74. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24293749>

23. Guggenheim E. A. The Principle of Corresponding States. J. Chem. Phys. 1945;(13):253-261.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1724033>

24. Mjalli F. S., Vakili-Nezhaada Gh., Shahbaz K., AlNashef I. M. Application of the Eötvös and Guggenheim empirical rules for predicting the density and surface tension of ionic liquids analogues. Thermochemica Acta. 2014;575:40-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.10.017>

Сведения об авторах

Пацюк Любовь Карповна, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6395-5312>

Федосенко Татьяна Васильевна, научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7345-1799>

Кондратенко Владимир Владимирович, кандидат техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

✉ **Лукьяненко Мария Викторовна**, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2842-3713>, e-mail: sci@vniitek.ru

Information about the authors

Lyubov K. Patsyuk, leading researcher, the Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federation, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6395-5312>

Tatiana V. Fedosenko, researcher, the Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federation, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7345-1799>

Vladimir V. Kondratenko, PhD in Engineering, associate professor, Deputy Director for Research, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federation, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

✉ **Maria V. Lukyanenko**, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federation, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2842-3713>, e-mail: sci@vniitek.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author