

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ | TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Современная наука и инновации.
2023. № 2(42). С. 83-94
Modern Science and Innovations.
2023; 2(42):83-94

Динара Александровна Салманова
[Dinara A. Salmanova]

Научная статья / Original article

УДК 637.143.6
DOI: 10.37493/2307-910X.2023.2.8

**Изучение физико-химических и реологических
свойств молочных систем, восстановленных с
использованием кавитационной дезинтеграции**

**Investigation of physico-chemical and rheological
properties of dairy systems rehydrated using
cavitation disintegration**

Северо-Кавказский Федеральный Университет, г. Ставрополь, Россия /
North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia, salmanova.dinara@yandex.ru

Аннотация. Изучено формирование физико-химических и реологических свойств восстановленных молочных систем «сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» в зависимости от параметров и продолжительности ультразвуковой обработки, а также от процента замены в растворах сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой. Получены тернарные поверхности, а также математические модели в виде уравнений регрессии описывающие формирование исследуемых свойств восстановленных растворов. Определены оптимальные режимы обработки, а также уровень замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой.

Ключевые слова: восстановленная молочная основа, сухая деминерализованная молочная сыворотка, сухое обезжиренное молоко, кавитационная дезинтеграция

Благодарности: Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору, член-корреспонденту Российской академии наук И.А. Евдокимову, а также доктору технических наук, доценту А.А. Брацихину за проведение консультаций и ценные советы по теме исследования.

Для цитирования: Салманова Д. А. Изучение физико-химических и реологических свойств молочных систем, восстановленных с использованием кавитационной дезинтеграции // Современная наука и инновации. 2023. №2 (42). С. 83-94. <https://doi.org/10.37493/2307-910x.2023.2.8>

Abstract. The formation of physicochemical and rheological properties of the rehydrated dairy systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» was studied depending on the parameters and duration of ultrasonic treatment, as well as on the percentage of replacement in solutions of skimmed milk powder with dry demineralized whey. Ternary surfaces are obtained, as well as mathematical models in the form of regression equations describing the formation of the studied properties of the reduced solutions. Optimal treatment modes were determined, as well as the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey.

Key words: rehydrated milk base, dry demineralized whey, skimmed milk powder, cavitation disintegration

Acknowledgments: The author is grateful to Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences I.A. Evdokimov, as well as Doctor of Technical Sciences, Associate Professor A.A. Bratsikhin for consultations and valuable advice on the research topic.

For citation: Salmanova D. Al. Investigation of physico-chemical and rheological properties of dairy systems rehydrated using cavitation disintegration. *Modern Science and Innovations*. 2023;2(42):83-94. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.2.8>

Введение. При производстве молочных продуктов, таких как сыр, творог, масло и сливки, как правило, получают побочные молочные продукты – сыворотка, пахта и обезжиренное молоко [1 – 9].

Уровень использования сыворотки в России сдерживается низким содержанием сухих веществ (до 6 %), высокой стоимостью транспортировки, сезонностью и удаленностью мест получения сырья от перерабатывающих производств. Производство и обогащение напитков, десертов и функциональных продуктов питания с использованием натуральной сывороткой является низкорентабельным, несмотря на высокую биологическую ценность данного сырья [10 – 14].

Наиболее предпочтительным способом переработки получаемой сыворотки на сегодняшний день является производство сухой молочной сыворотки, на которую приходится около 60 % объемов переработки [15 – 21].

Многие отрасли пищевой промышленности широко применяют сухую сыворотку, однако в большинстве своём при дальнейшем использовании её необходимо восстановить. Процесс восстановления должен обеспечивать стабильность жидкой системы при идентичных показателях состава и свойств по аналогии с натуральной сывороткой [22 – 24]. Одним из способов интенсификации процесса восстановления сухих молочных систем является ультразвуковое воздействие [25 – 34]. Использование ультразвукового воздействия способствует формированию восстановленных растворов с оптимальными физико-химическими и реологическими свойствами.

Материалы и оборудование. Для ультразвуковой обработки восстановленных растворов использовали лабораторный ультразвуковой гомогенизатор Hilscher UP – 400S («Hilscher» Germany) (400 Вт, 24 кГц). Измерение активной кислотности растворов молочных систем проводили с использованием рН-метра-иономера Эксперт – 001. Измерения и контроль активной кислотности были проведены по аттестованной методике № ВНИМИ – 03/98. Измерения вязкости проводили на вискозиметре типа Брукфильда. Использовался ротационный вискозиметр DV-II+PRO модель LVDV-II+PRO с цилиндрическими измерительными системами. Определение плотности выполняли по ГОСТ 3625-84 ареометром АОН-4. Определение титруемой кислотности выполняли по ГОСТ 3624-92.

Результаты и обсуждение. Для изучения физико-химических и реологических показателей восстановленных молочных систем была построена матрица математического планирования эксперимента [35]. Для этого использовался метод латинского квадрата, применимый для трехфакторного эксперимента, где в качестве параметров для построения матрицы использовали: амплитуду механических колебаний по шкале прибора Hilscher UP – 400S (А, %), время обработки раствора ультразвуком (t, с), процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой (С, %).

Для того чтобы достигнуть сходства восстановленных молочных систем с контрольным образцом восстановленного обезжиренного молока для изучения были выбраны следующие параметры: активная кислотность (рН, ед.), вязкость (η , мПа·с), плотность (ρ , кг/м³), титруемая кислотность (°Т). Полученные экспериментальные данные восстановленных образцов представлены в таблице 1.

На основании экспериментальных данных в программном пакете Statistica 10.0 были построены и обучены нейронные сети. Для обучения нейронных сетей использовался алгоритм обратного распространения [36]. Далее были получены тернарные поверхности и изолинии их сечений (рисунки 1 – 4), а также математические модели в виде уравнений регрессии, описывающие зависимость изменения физико-химических и реологических показателей восстановленных систем от амплитуды и времени обработки растворов ультразвуком, а также от процента замены в растворах сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой.

Таблица 1 – Экспериментальные данные /Table 1 – Experimental data

№ образца	Амплитуда, %	Время обработки, с	Процент замены, %	Активная кислотность, ед	Вязкость, мПа·с	Плотность, кг/м ³	Титруемая кислотность, °Т
1	20	10	10	6,327	3,58	1037	22
2	20	50	50	6,270	3,40	1043	21
3	20	90	90	6,290	3,84	1047	17
4	60	10	50	6,320	3,95	1038	20
5	60	50	90	6,324	4,40	1036	14
6	60	90	10	6,288	3,15	1030	21
7	100	10	90	6,327	4,40	1033	14
8	100	50	10	6,268	3,71	1035	22
9	100	90	50	6,237	3,44	1038	21
Контрольный	—	—	—	6,325	4,40	1040	18

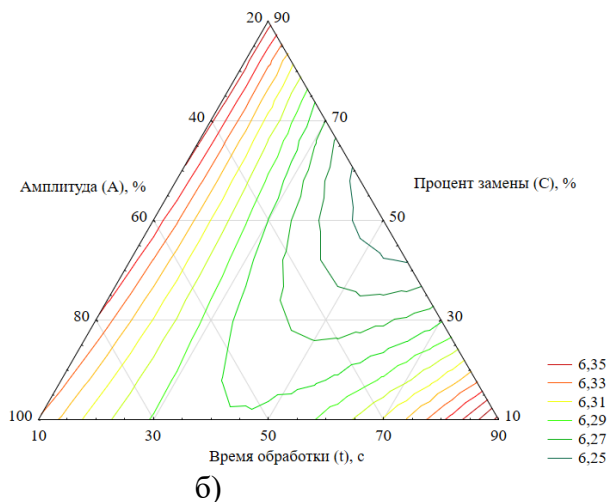
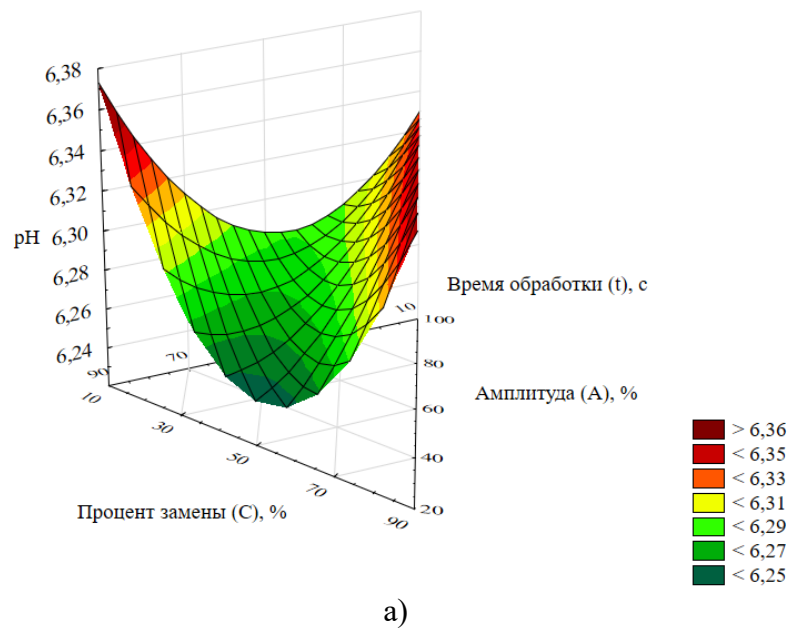


Рисунок 1 – Зависимость pH систем

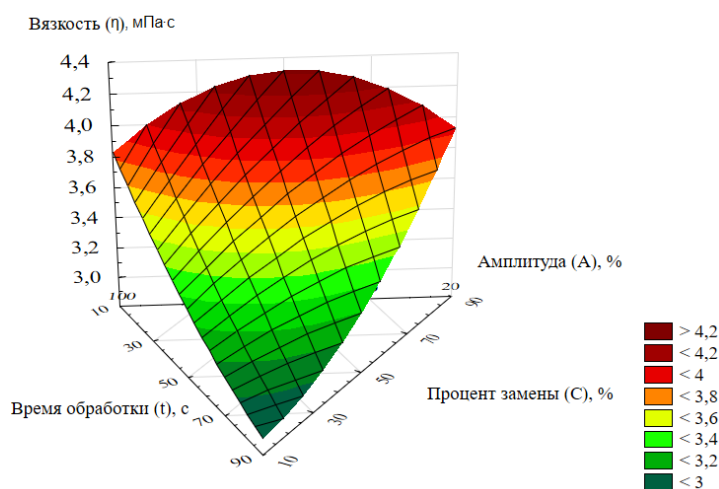
«сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от амплитуды, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой: а – тернарная поверхность, б – изолинии сечения тернарной поверхности

Figure 1 – Dependence of pH systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» from the amplitude, the time of ultrasound treatment and the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey: а – ternary surface, б – isolines of the section of the ternary surface

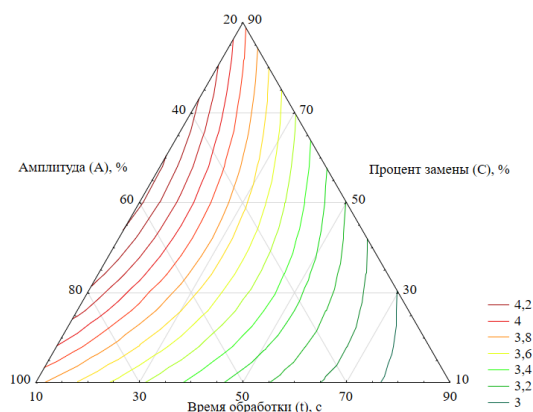
Зависимость активной кислотности от режимов обработки (амплитуды и времени кавитационной дезинтеграции и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой $pH = f(A, C, t)$ описывается следующим математическим уравнением:

$$pH = 6,3295 \cdot A + 6,3728 \cdot t + 6,3544 \cdot C - 0,2733 \cdot A \cdot t + 0,0202 \cdot A \cdot C - 0,4834 \cdot C \cdot t + 0,0642 \cdot A \cdot C \cdot t$$

Установлено, что восстановленный раствор с приближенными к контрольному образцу восстановленного обезжиренного молока значениями активной кислотности формируется при следующих технологических параметрах: амплитуда механических колебаний – от 20 до 40 %, время воздействия ультразвука – от 40 до 60 секунд, процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой – от 40 % до 60 %.



а)



б)

Рисунок 2 – Зависимость вязкости систем

«сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от амплитуды, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой: а – тернарная поверхность, б – изолинии сечения тернарной поверхности

Figure 2 – Dependence of viscosity of systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» from the amplitude, the time of ultrasound treatment and the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey: а – ternary surface, б – isolines of the ternary surface section

Зависимость вязкости от режимов обработки и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой $\eta = f(A, C, t)$ описывается следующим математическим уравнением:

$$\eta = 3,8299 \cdot A + 2,9068 \cdot t + 3,9278 \cdot C - 0,4453 \cdot A \cdot t + 1,7701 \cdot A \cdot C - 0,8891 \cdot C \cdot t - 0,2252 \cdot A \cdot C \cdot t$$

Установлено, что восстановленный раствор с приближенными к контрольному образцу восстановленного обезжиренного молока значениями вязкости формируется при следующих технологических параметрах: амплитуда механических колебаний – от 20 до 40 %, время воздействия ультразвука – от 60 до 90 секунд, процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой – от 10 % до 30 %.

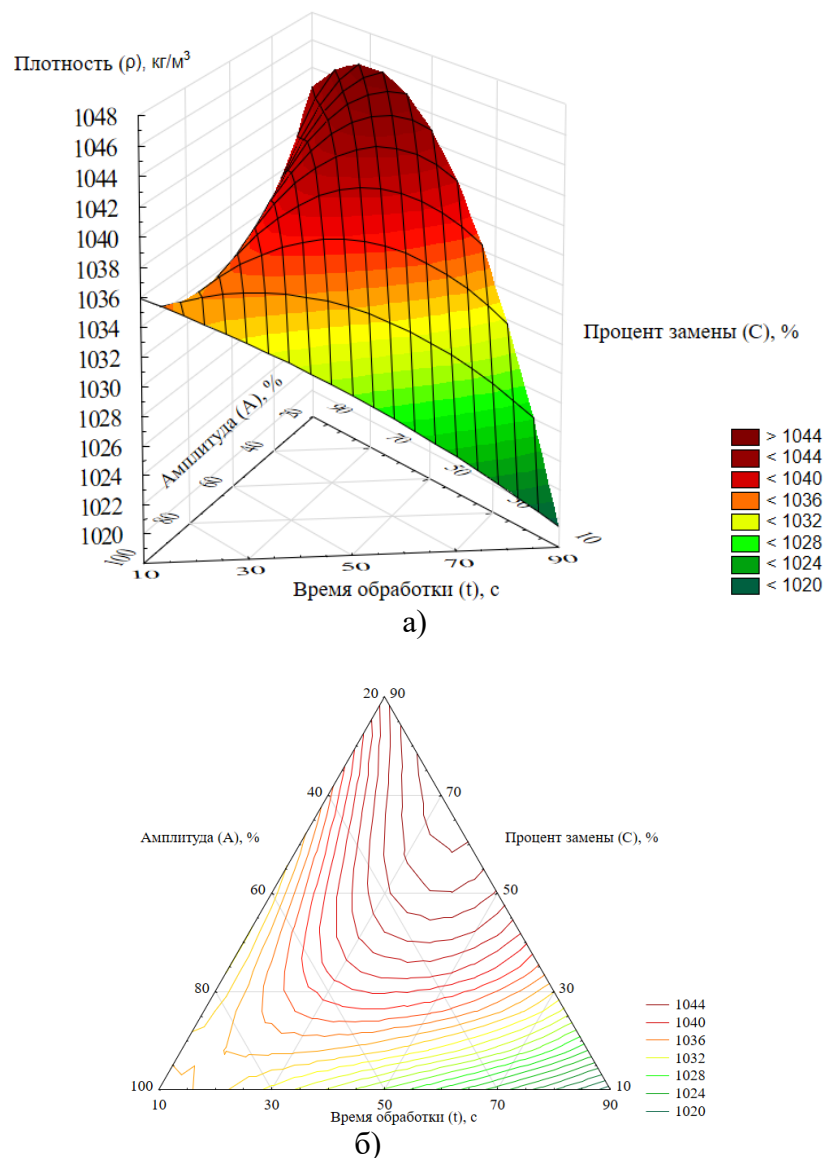


Рисунок 3 – Зависимость плотности систем

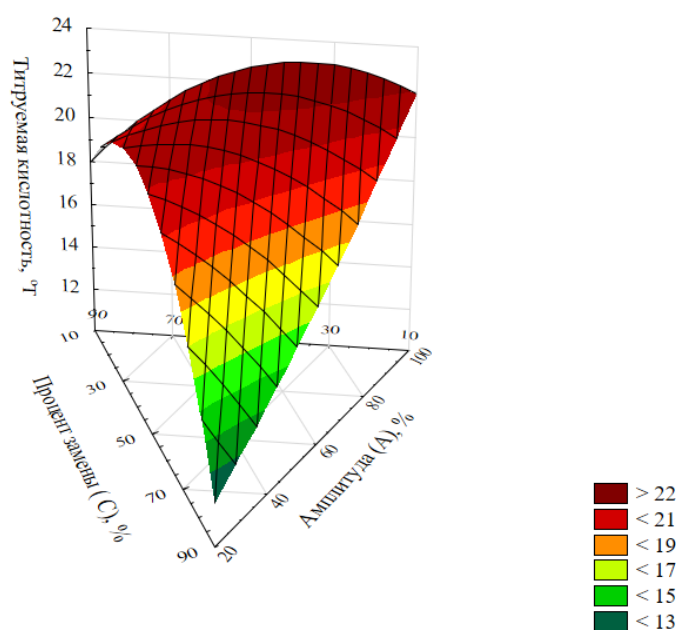
«сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от амплитуды, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой: а – тернарная поверхность, б – изолинии сечения тернарной поверхности

Figure 3 – Dependence of the density of systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» from the amplitude, the time of ultrasound treatment and the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey: а – ternary surface, б – isolines of the ternary surface section

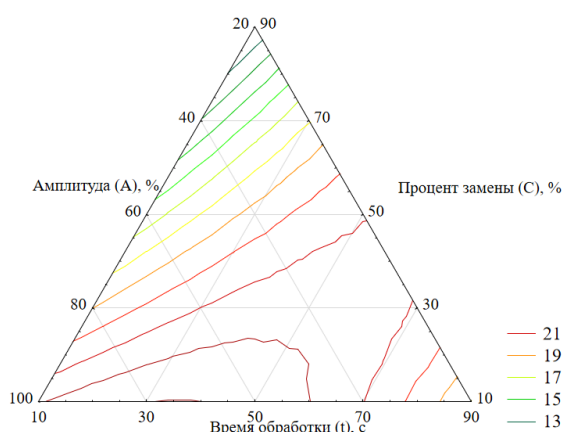
Зависимость плотности от режимов обработки и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой $\rho = f(A, C, t)$ описывается следующим математическим уравнением:

$$\rho = 1035,8987 \cdot A + 1019,4671 \cdot t + 1042,5808 \cdot C + 4,9764 \cdot A \cdot t - 23,4818 \cdot A \cdot C + 47,4592 \cdot C \cdot t + 139,4673 \cdot A \cdot C \cdot t$$

Установлено, что восстановленный раствор с приближенными к контрольному образцу восстановленного обезжиренного молока значениями плотности формируется при следующих технологических параметрах: амплитуда механических колебаний – от 20 до 50 %, время воздействия ультразвука – от 30 до 60 секунд, процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой – от 10 % до 50 %.



а)



б)

Рисунок 4 – Зависимость титруемой кислотности систем

«сухое обезжиренное молоко – сухая деминерализованная молочная сыворотка» от амплитуды, времени обработки ультразвуком и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой: а – тернарная поверхность, б – изолинии сечения тернарной поверхности

Figure 4 – Dependence of titrated acidity of systems «skimmed milk powder – demineralized whey powder» from the amplitude, the time of ultrasound treatment and the percentage of replacement of skimmed milk powder with dry demineralized whey: а – ternary surface, б – isolines of the section of the ternary surface

Зависимость титруемой кислотности от режимов обработки и процента замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой $T = f(A, C, t)$ описывается следующим математическим уравнением:

$$T = 21,8943 \cdot A + 17,9765 \cdot t + 12,0187 \cdot C + 11,0139 \cdot A \cdot t - 2,3182 \cdot A \cdot C + 23,757 \cdot C \cdot t$$

Восстановленный раствор с приближенными к контрольному образцу восстановленного обезжиренного молока значениями титруемой кислотности формируется при следующих технологических параметрах: амплитуда механических колебаний – от 20 до 50 %, время воздействия ультразвука – от 10 до 30 секунд, процент замены сухого обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой – от 70 % до 90 %.

Заключение. В результате проведенного экспериментального исследования установлено, что оптимальные по исследуемым физико-химическим и реологическим свойствам системы формируются при следующих режимах обработки ультразвуком: амплитуда механических колебаний от 20 до 50 % по шкале прибора Hilscher UP – 400S, что соответствует величине интенсивности ультразвука от $0,72 \cdot 10^5$ Вт/м² до $1,26 \cdot 10^5$ Вт/м²; время обработки ультразвуком от 40 до 60 секунд. Восстановленный раствор с приближенными к контрольному образцу восстановленного обезжиренного молока физико-химическими и реологическими свойствами формируется при уровне замены обезжиренного молока сухой деминерализованной молочной сывороткой в пределах от 10 до 50 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rafiq, S. M., Rafiq S. I. Milk by-products Utilization // Current issues and challenges in the dairy industry. 2019. Vol. 8, No. 8. P. 31-38.
2. Zokaityte E., Cernauskas D., Klupsaite D., Lele V., Starkute V., Zavistanaviciute P., Bartkiene E. Bioconversion of milk permeate with selected lactic acid bacteria strains and apple by-products into beverages with antimicrobial properties and enriched with galactooligosaccharides // Microorganisms. 2020. Vol. 8, No. 8. 1182 p.
3. Lemiasheuski V. O., Özcan M. M., Ostrenko K. S. Milk and milk by products and alternative assessment methods // Sakharov readings 2021: Environmentsl problems of the XXI century. Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2021. Vol. 1. 338 p.
4. Ravindra M. R., Sharma M., Krishnegowda R., Sangma A. Valorization of By-Products of Milk Fat Processing // Biotechnology for Zero Waste: Emerging Waste Management Techniques. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2022. P. 557-567.
5. Blinov A. V., Siddiqui S. A., Blinova A. A., Khramtsov A. G., Oboturova N. P., Nagdalian A. A., Ibrahim S. A. Analysis of the dispersed composition of milk using photon correlation spectroscopy // Journal of Food Composition and Analysis. 2022. No. 108. P. 1-29.
6. Kytä, V., Roitto M., Astaptsev A., Saarinen M., Tuomisto H. L. Review and expert survey of allocation methods used in life cycle assessment of milk and beef // The International Journal of Life Cycle Assessment. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 191-204.
7. Meneses R. B., Monteiro M. L. G., Santos F. D., Leão M. D. R., Conte-Junior C. A. Sensory Characteristics of Dairy By-Products as Potential Milk Replacers in Ice Cream // Sustainability. 2021. No. 13. 1531 p.
8. Сомов В. С., Евдокимов И. А. Мониторинг современных трендов переработки вторичного молочного сырья для получения сухих миенрало-органических смесей и солей молока // Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности: материалы VII Международной научно-практической конференции (20–24 октября 2020 г.). / под ред. Евдокимова И. А., Лодыгина А. Д., Вартумяна А. А. Пятигорск: Издательство ПФ СКФУ, 2020. Т. II. 206 с.
9. Гачегова В. В., Ивкова И. А. Применение вторичных продуктов переработки молока в производстве кисломолочных продуктов // Национальная (Всероссийская) научно-

практическая конференция «Современные тенденции развития ветеринарной науки и практики». Омск: Издательство Омский ГАУ, 2021. С. 221-224.

10. Витушкина М. А., Дулепова М. А. Сывороточные белки молока и их свойства // Вестник науки. 2020. Т. 5, № 8 (29). С. 51-58.

11. Tsermoula P., Khakimov B., Nielsen J. H., Engelsen S. B. WHEY-The waste-stream that became more valuable than the food product // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 118. P. 230-241.

12. Khramtsov A. G., Blinov A. V., Blinova A. A., Serov A. V. Influence of the whey type on composition and properties of its mineralizates // Foods and Raw materials. 2017. Vol. 5, No. 1. P. 30-40.

13. Витушкина М. А. Использование молочной сыворотки в пищевой промышленности // Вестник науки. 2021. Т. 5, № 1 (34). С. 127-132.

14. Краснопёрова Е. Ф., Назаренко Т. А., Нуржанова А. А. Разработка технологии сывороточного напитка для функционального питания // Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой юбилею Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, доктора технических наук, профессора Гавриловой Натальи Борисовны. Омск: Издательство Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2020. С. 417-421.

15. Волкова Т. А. Реализация наилучших доступных технологий при производстве сухих концентратов из молочной сыворотки // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России. Материалы VIII Международной научно-практической конференции / под ред. И. А. Евдокимова, А. Д. Лодыгина. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «Бюро новостей», 2021. С. 68-71.

16. Муслимова Н. Р., Кулуштаева Б. М., Майжанова А. О. Рациональное использование молочной сыворотки в пищевой промышленности // Интеграция образования, науки и производства: материалы Международной научно-практической конференции (г. Мелеуз, 17 апреля 2020 г.), 2020. 103 с.

17. Сейфуллаева М. Э., Беленикина М. Г. Рынок молочной промышленности России: состояние и перспективы // Маркетинг в России и за рубежом. 2016. № 6. С. 106-114.

18. Степанов К. М., Дармаева Г.Г., Ханхалдаева С. Г-Д. и др. Безотходная переработка молочного сырья // Молочная промышленность. 2020. № 2. С. 43-45.

19. Леушина А. Д., Устюжанинова Л. В. Исследование возможности получения этилового спирта из молочной сыворотки // VIII Пущинская конференция «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», Школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие»: сборник тезисов. М.: ГЕОС, 2022. Т. 6. 294 с.

20. Володин Д. Н., Золоторева М. С., Топалов В. К., Евдокимов И. А., Храмцов А. Г., Мертин П. Переработка молочной сыворотки: понятная стратегия, реальные технологии, адекватные инвестиции, востребованные продукты // Молочная промышленность. 2015. № 5. С. 36-41.

21. Рязанцева К. А., Коростелева М. М. Рынок функциональных продуктов, обогащенных сывороточными ингредиентами // Молочная промышленность. 2021. № 1. С. 30-33.

22. Lloyd R., Stewart H., Bailey D. Slowly dissolving particles in instant whole milk powder-Characterisation and quantitative analysis // International dairy journal. 2019. Vol. 97. P. 65-70.

23. Ho T. M., Zhu J., Bansal N., Boyce M. C., Le T. T. Effect of pH and heat treatment on physicochemical and functional properties of spray-dried whey protein concentrate powder // International Dairy Journal. 2021. Vol. 119. P. 5-43.

24. Горелкина А. К., Тимошук И. В., Багдонас Н. С. Влияние контаминантов водопроводной воды на компоненты восстановленной сыворотки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 4. С. 25-30.
25. Рохлова М. В., Юшина Е. А. Основные направления применения акустической кавитации в производстве пищевых продуктов // E-Scio. 2020. № 6 (45). С. 85-97.
26. Костенко К. В., Брачихин А. А., Салманова Д. А., Борисенко А. А. Перспективы применения акустической обработки для производства молочных продуктов // Вестник СКФУ. 2016. № 4 (55). 222 с.
27. Борисенко А. А., Брачихин А. А., Костенко К. В., Костенко Е. Г., Борисенко Л. А. Применение ультразвукового воздействия в пищевой промышленности // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России. Материалы VIII Международной научно-практической конференции / под ред. И. А. Евдокимова, А. Д. Лодыгина. Ставрополь, 2021. С. 43-47.
28. Balthazar C. F., Santillo A., Guimarães J. T., Bevilacqua A., Corbo M. R., Caroprese M., Albenzio M. Ultrasound processing of fresh and frozen semi-skimmed sheep milk and its effects on microbiological and physical-chemical quality // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. Vol. 51. P. 241-248.
29. Alves de Aguiar Bernardo Y., Kaic Alves do Rosario D., Conte-Junior C. Adam Ultrasound on Milk Decontamination: Potential and Limitations Against Foodborne Pathogens and Spoilage Bacteria // Food Reviews International. 2021. P. 1-14.
30. Carrillo-Lopez L. M., Garcia-Galicia I. A., Tirado-Gallegos J. M., Sanchez-Vega R., Huerta-Jimenez M., Ashokkumar M., Alarcon-Rojo A. D. Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 73. P. 105-147.
31. Singla M., Sit N. Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 73. P. 105-156.
32. Feng H., Ding J., Zhou B. Ultrasonic Processes // Food Safety Engineering. – Springer, Cham, 2020. P. 579-605.
33. Oliveira A. R., Guimarães J. T., Ramos G. L. P., Esmerino E. A., Pimentel T. C., Neto R. P., Cruz A. G. Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2022. Vol. 75. P. 1-29.
34. Neokleous I., Tarapata J., Papademas P. Non-thermal processing technologies for dairy products: Their effect on safety and quality characteristics // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2022. Vol. 6. 184 p.
35. Shashkanova O., Maliutina K. Mathematical Modeling and Planning of a Three-Factor Experiment to Determine the Content of Copper and Zinc in the Brass Coating of Steel Wire // 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). IEEE, 2019. P. 590-595.
36. Bratsikhin A., Kostenko K., Salmanova D. Reconstitution of dry whey by cavitation disintegration based on the water catholyte // Journal of Hygienic Engineering and Design. 2017. Vol. 21. P. 103-107.

REFERENCES

1. Rafiq, S. M., Rafiq S. I. Milk by-products Utilization // Current issues and challenges in the dairy industry. 2019. Vol. 8, No. 8. P. 31-38.
2. Zokaityte E., Cernauskas D., Klupsaite D., Lele V., Starkute V., Zavistanaviciute P., Bartkiene E. Bioconversion of milk permeate with selected lactic acid bacteria strains and apple by-products into beverages with antimicrobial properties and enriched with galactooligosaccharides // Microorganisms. 2020. Vol. 8, No. 8. 1182 p.

3. Lemiasheuski V. O., Özcan M. M., Ostrenko K. S. Milk and milk by products and alternative assessment methods // Sakharov readings 2021: Environmental problems of the XXI century. Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2021. Vol 1. 338 p.
4. Ravindra M. R., Sharma M., Krishnegowda R., Sangma A. Valorization of By-Products of Milk Fat Processing // Biotechnology for Zero Waste: Emerging Waste Management Techniques. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2022. P. 557-567.
5. Blinov A. V., Siddiqui S. A., Blinova A. A., Khramtsov A. G., Oboturova N. P., Nagdalian A. A., Ibrahim S. A. Analysis of the dispersed composition of milk using photon correlation spectroscopy // Journal of Food Composition and Analysis. 2022. No. 108. P. 1-29.
6. Kytä, V., Roitto M., Astaptsev A., Saarinen M., Tuomisto H. L. Review and expert survey of allocation methods used in life cycle assessment of milk and beef // The International Journal of Life Cycle Assessment. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 191-204.
7. Meneses R. B., Monteiro M. L. G., Santos F. D., Leão M. D. R., Conte-Junior C. A. Sensory Characteristics of Dairy By-Products as Potential Milk Replacers in Ice Cream // Sustainability. 2021. No. 13. 1531 p.
8. Somov V. S., Evdokimov I. A. Monitoring sovremennykh trendov pererabotki vtorichnogo molochnogo syr'ya dlya polucheniya sukhikh mienralo-organicheskikh smesei i solei moloka // Sovremennye dostizheniya biotekhnologii. Tekhnika, tekhnologii i upakovka dlya realizatsii innovatsionnykh proektov na predpriyatiyakh pishchevoi i biotekhnologicheskoi promyshlennosti: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (20–24 oktyabrya 2020 g.). / pod red. Evdokimova I. A., Lodygina A. D., Vartumyana A.A. Pyatigorsk: Izdatel'stvo PF SKFU, 2020. T. II. 206 p.
9. Gachegova V. V., Ivkova I. A. Primenenie vtorichnykh produktov pererabotki moloka v proizvodstve kislomolochnykh produktov // Natsional'naya (Vserossiiskaya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennye tendentsii razvitiya veterinarnoi nauki i praktiki». Omsk: Izdatel'stvo Omskii GAU, 2021. P. 221-224.
10. Vitushkina M. A., Dulepova M. A. Syvorotochnye belki moloka i ikh svoistva // Vestnik nauki. 2020. T. 5, No. 8 (29). P. 51-58.
11. Tsermoula P., Khakimov B., Nielsen J. H., Engelsen S. B. WHEY-The waste-stream that became more valuable than the food product // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 118. P. 230-241.
12. Khramtsov A. G., Blinov A. V., Blinova A. A., Serov A. V. Influence of the whey type on composition and properties of its mineralizates // Foods and Raw materials. 2017. Vol. 5, No. 1. P. 30-40.
13. Vitushkina M. A. Ispol'zovanie molochnoi syvorotki v pishchevoi promyshlennosti // Vestnik nauki. 2021. T. 5, No. 1 (34). P. 127-132.
14. Krasnoperova E. F., Nazarenko T. A., Nurzhanova A. A. Razrabotka tekhnologii syvorotochnogo napitka dlya funktsional'nogo pitaniya // Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi yubileyu Zasluzhennogo rabotnika vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii, doktora tekhnicheskikh nauk, professora Gavrilovoi Natal'i Borisovny. Omsk: Izdatel'stvo Omskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni P.A. Stolypina, 2020. P. 417-421.
15. Volkova T. A. Realizatsiya nailuchshikh dostupnykh tekhnologii pri proizvodstve sukhikh kontsentratsionnykh iz molochnoi syvorotki // Sovremennye dostizheniya biotekhnologii. Global'nye vyzovy i aktual'nye problemy pererabotki i ispol'zovaniya vtorichnykh syr'evykh resursov agropromyshlennogo kompleksa Rossii. Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii / pod red. I. A. Evdokimova, A. D. Lodygina. Stavropol': Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu «Byuro novostei», 2021. P. 68-71.
16. Muslimova N. R., Kulushtaeva B. M., Maizhanova A. O. Ratsional'noe ispol'zovanie molochnoi syvorotki v pishchevoi promyshlennosti // Integratsiya obrazovaniya, nauki i proizvodstva: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (g. Meleuz, 17 aprelya 2020 g.), 2020. 103 p.

17. Seifullaeva M. E., Belenikina M. G. Rynok molochnoi promyshlennosti Rossii: sostoyanie i perspektivy // Marketing v Rossii i za rubezhom. 2016. No. 6. P. 106-114.
18. Stepanov K. M., Darmaeva G. G., Khankhaldava S. G-D. i dr. Bezotkhodnaya pererabotka molochnogo syr'ya // Molochnaya promyshlennost'. 2020. No. 2. P. 43-45.
19. Leushina A. D., Ustyuzhaninova L. V. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya ehtilovogo spirta iz molochnoi syvorotki // VIII Pushchinskaya konferentsiya «Biokhimiya, fiziologiya i biosfernaya rol' mikroorganizmoV», Shkola-konferentsiya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov «Geneticheskie tekhnologii v mikrobiologii i mikrobnoe raznoobrazie»: sbornik tezisov. M.: GEOS, 2022. T. 6. 294 p.
20. Volodin D.N., Zolotoreva M.S., Topalov V.K., Evdokimov I.A., Khramtsov A.G., Mertin P. Pererabotka molochnoi syvorotki: ponyatnaya strategiya, real'nye tekhnologii, adekvatnye investitsii, vostrebovannye produkty // Molochnaya promyshlennost'. 2015. No. 5. P. 36-41.
21. Ryazantseva K. A., Korosteleva M. M. Rynok funktsional'nykh produktov, obogashchennykh syvorotochnymi ingredientami // Molochnaya promyshlennost'. 2021. No. 1. P. 30-33.
22. Lloyd R., Stewart H., Bailey D. Slowly dissolving particles in instant whole milk powder-Characterisation and quantitative analysis // International dairy journal. 2019. Vol. 97. P. 65-70.
23. Ho T. M., Zhu J., Bansal N., Boyce M. C., Le T. T. Effect of pH and heat treatment on physicochemical and functional properties of spray-dried whey protein concentrate powder // International Dairy Journal. 2021. Vol. 119. P. 5-43.
24. Gorelkina A. K., Timoshchuk I. V., Bagdonas N. S. Vliyanie kontaminantov vodoprovodnoi vody na komponenty vosstanovlennoi syvorotki // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya. 2020. No. 4. P. 25-30.
25. Rokhlova M. V., Yushina E. A. Osnovnye napravleniya primeneniya akusticheskoi kavitatsii v proizvodstve pishchevykh produktov // E-Scio. 2020. No. 6 (45). P. 85-97.
26. Kostenko K. V., Bratsikhin A. A., Salmanova D. A., Borisenko A. A. Perspektivy primeneniya akusticheskoi obrabotki dlya proizvodstva molochnykh produktov // Vestnik SKFU. 2016. No. 4 (55). 222 p.
27. Borisenko A. A., Bratsikhin A. A., Kostenko K. V., Kostenko E. G., Borisenko L. A. Primenenie ul'trazvukovogo vozdeistviya v pishchevoi promyshlennosti // Sovremennye dostizheniya biotekhnologii. Global'nye vyzovy i aktual'nye problemy pererabotki i ispol'zovaniya vtorichnykh syr'evykh resursov agropromyshlennogo kompleksa Rossii. Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii / pod red. I. A. Evdokimova, A. D. Lodygina. Stavropol', 2021. P. 43-47.
28. Balthazar C. F., Santillo A., Guimarães J. T., Bevilacqua A., Corbo M. R., Caroprese M., Albenzio M. Ultrasound processing of fresh and frozen semi-skimmed sheep milk and its effects on microbiological and physical-chemical quality // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. Vol. 51. P. 241-248.
29. Alves de Aguiar Bernardo Y., Kaic Alves do Rosario D., Conte-Junior C. Adam Ultrasound on Milk Decontamination: Potential and Limitations Against Foodborne Pathogens and Spoilage Bacteria // Food Reviews International. 2021. P. 1-14.
30. Carrillo-Lopez L. M., Garcia-Galicia I. A., Tirado-Gallegos J. M., Sanchez-Vega R., Huerta-Jimenez M., Ashokkumar M., Alarcon-Rojas A. D. Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 73. P. 105-147.
31. Singla M., Sit N. Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 73. P. 105-156.
32. Feng H., Ding J., Zhou B. Ultrasonic Processes // Food Safety Engineering. Springer, Cham, 2020. P. 579-605.

33. Oliveira A. R., Guimarães J. T., Ramos G. L. P., Esmerino E. A., Pimentel T. C., Neto R. P., Cruz A. G. Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2022. Vol. 75. P. 1-29.
34. Neokleous I., Tarapata J., Papademas P. Non-thermal processing technologies for dairy products: Their effect on safety and quality characteristics // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2022. Vol. 6. 184 p.
35. Shashkanova O., Maliutina K. Mathematical Modeling and Planning of a Three-Factor Experiment to Determine the Content of Copper and Zinc in the Brass Coating of Steel Wire // 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). IEEE, 2019. P. 590-595.
36. Bratsikhin A., Kostenko K., Salmanova D. Reconstitution of dry whey by cavitation disintegration based on the water catholyte // Journal of Hygienic Engineering and Design. 2017. Vol. 21. P. 103-107.

ОБ АВТОРЕ / ABOUT THE AUTHOR

Салманова Динара Александровна, инженер научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Россия, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-906-462-49-14, ORCID: 0009-0003-2240-0777, salmanova.dinara@yandex.ru

Salmanova Dinara Alexandrovna, engineer of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-906-462-49-14, ORCID: 0009-0003-2240-0777, salmanova.dinara@yandex.ru

Дата поступления в редакцию: 03.04.2023

После рецензирования: 13.05.2023

Дата принятия к публикации: 07.06.2023