

Наиля Мидхатовна Даишева¹, Семен Олегович Семенихин^{2✉},
Владимир Олегович Городецкий³, Алла Андреевна Фабрицкая⁴,
Мирсабир Миразалович Усманов⁵, Наталья Ивановна Котляревская⁶

^{1,2,3,4,5,6}Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Северо-Кавказского ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

¹hw-daisheva@yandex.ru

²semenikhin_s_o@mail.ru

³gorodecky_v_o@mail.ru

⁴ms.fabritskaya@list.ru

⁵usmanov_m_m@mail.ru

⁶kotlyarevskaya_n_i@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТЕПЕНЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕКТИНА ИЗ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА РАСТВОРОМ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ

Цель исследования – выявление влияния УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома раствором лимонной кислоты. Задача – определить режимы УЗ воздействия в процессе экстракции пектина из ферментированного свекловичного жома, обеспечивающие максимальную степень извлечения пектина. Объект исследования – ферментированный свекловичный жом, а также пектиновый экстракт, полученный из ферментированного свекловичного жома. В качестве экстрагента для извлечения пектина был выбран водный раствор лимонной кислоты с концентрацией 0,33 %, который, согласно предварительно проведенным исследованиям, выполняет только функцию экстрагента, не приводя к гидролизу компонентов ферментированного свекловичного жома. Исследование биохимического состава ферментированного свекловичного жома осуществляли согласно методам, приведенным в ГОСТ 28561-90, 25555.4-91, 26889-86, 29059-91 и работе Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. «Методы биохимического исследования растений» (М., 1987). В пектиновом экстракте определяли массовую долю пектина кальций-пектатным методом. Для исследования влияния УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома проводили экстракцию пектина при различных режимах. При проведении процесса экстракции в качестве постоянных факторов были приняты: температура экстракции – 55 °С, концентрация водного раствора лимонной кислоты – 0,33 %, соотношение «ферментированный свекловичный жом : водный раствор лимонной кислоты» – 1 : 10; дискретность УЗ воздействия – 10 мин; время экстракции – 60 мин. В качестве переменных факторов – удельная мощность УЗ воздействия, Вт/см³, и время УЗ воздействия, с. В результате проведенных исследований установлены оптимальные режимы УЗ воздействия, а именно: удельная мощность 0,24 Вт/см³ в течение 15 с с дискретностью обработки 10 мин, обеспечивающие максимальную степень извлечения пектина – 53,05 %, при этом чистота полученного пектинового экстракта составляла 70,8 %.

Ключевые слова: пектинсодержащее сырье, ферментированный свекловичный жом, пектин, лимонная кислота, УЗ воздействие, степень извлечения пектина, эффективность

Для цитирования: Исследование влияния ультразвукового воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома раствором лимонной кислоты / Н.М. Даишева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 9. С. 151–158. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-151-158.

Nailya Midkhatovna Daisheva¹, Semyon Olegovich Semenikhin^{2✉}, Vladimir Olegovich Gorodetsky³, Alla Andreevna Fabrickaya⁴, Mirsabir Mirabzalovich Usmanov⁵, Natalia Ivanovna Kotlyarevskaya⁶

^{1,2,3,4,5,6}Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia

¹hw-daisheva@yandex.ru

²semenikhin_s_o@mail.ru

³gorodecky_v_o@mail.ru

⁴ms.fabritskaya@list.ru

⁵usmanov_m_m@mail.ru

⁶kotlyarevskaya_n_i@mail.ru

STUDY OF ULTRASONIC INFLUENCE ON THE DEGREE OF PECTIN EXTRACTION FROM FERMENTED BEET PULP WITH CITRIC ACID SOLUTION

The aim of the study is to identify the effect of ultrasound exposure on the degree of pectin extraction from fermented beet pulp with a citric acid solution. The task is to determine the modes of ultrasound exposure in the process of pectin extraction from fermented beet pulp, providing the maximum degree of pectin extraction. The object of the study is fermented beet pulp, as well as pectin extract obtained from fermented beet pulp. An aqueous solution of citric acid with a concentration of 0.33 % was chosen as an extractant for pectin extraction, which, according to preliminary studies, performs only the function of an extractant, without leading to hydrolysis of the components of the fermented beet pulp. The study of the biochemical composition of fermented beet pulp was carried out according to the methods given in GOST 28561-90, 25555.4-91, 26889-86, 29059-91 and the work of Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. "Methods of biochemical study of plants" (Moscow, 1987). The mass fraction of pectin in the pectin extract was determined using the calcium-pectate method. To study the effect of ultrasound exposure on the degree of pectin extraction from fermented beet pulp, pectin was extracted under different conditions. During the extraction process, the following constant factors were adopted: extraction temperature – 55 °C, concentration of aqueous citric acid solution – 0.33 %, ratio "fermented beet pulp: aqueous citric acid solution" – 1 : 10; discreteness of ultrasound exposure – 10 min; extraction time – 60 min. The variable factors were the specific power of ultrasound exposure, W/cm^3 , and the time of ultrasound exposure, s. As a result of the conducted studies, the optimal modes of ultrasound exposure were established, namely: specific power of 0.24 W/cm^3 for 15 s with a processing resolution of 10 min, providing the maximum degree of pectin extraction – 53.05 %, while the purity of the obtained pectin extract was 70.8 %.

Keywords: pectin-containing raw materials, fermented beet pulp, pectin, citric acid, ultrasound exposure, degree of pectin extraction, efficiency

For citation: Study of ultrasonic influence on the degree of pectin extraction from fermented beet pulp with citric acid solution / N.M. Daisheva [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(9): 151–158 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-151-158.

Введение. Известно, что классическим способом получения пектина из пектинсодержащего растительного сырья является кислотный гидролиз растительного сырья, совмещенный с экстракцией, последующее осаждение пектина из экстракта и его очистка [1–3].

В качестве экстрагента в классическом способе наиболее часто применяются минеральные кислоты, а именно соляная и серная, реже – органические кислоты, а именно уксусная и лимонная.

Однако основным недостатком классического способа получения пектина является то, что кроме гидролиза основных полисахаридов клеточной стенки – целлюлозы и гемицеллюлоз происходит также гидролиз целевого компонента – пектина [4]. В результате химического гидролиза снижается молекулярная масса пектина, а также возможно снижение степени этерификации, что оказывает негативное влияние на его свойства.

Учитывая это, первичное извлечение пектина следует осуществлять при более «мягких» режимах, которые обеспечивает ферментативная гидролиз-экстракция [5–7]. Однако проведенными ранее исследованиями установлено, что при осуществлении ферментативной гидролиз-экстракции степень извлечения пектина из свекловичного жома составляет 54,82 %, а остаточное содержание пектина в ферментированном свекловичном жоме составляет 11,9 % [8].

Это обуславливает необходимость проведения исследований, направленных на доизвлечение пектина из ферментированного свекловичного жома, полученного в результате ферментативного гидролиза свекловичного прессованного жома.

Учитывая, что отобранный для исследований свекловичный жом уже обработан ферментами, а основное количество балластных веществ извлечено на предыдущей стадии, т. е. на стадии ферментативной гидролиз-экстракции, то на стадии доизвлечения пектина применение кислотной гидролиз-экстракции является рациональным [9].

Учитывая тот факт, что в качестве исходного сырья используется ферментированный свекловичный жом, выполнение водным раствором кислоты функции гидролизующего агента не требуется, т. е. водный раствор кислоты должен выполнять только функцию экстрагента.

Поэтому для более полного извлечения пектина необходимо повысить проницаемость клеточных стенок с применением физических методов, так как ферментированный свекловичный жом содержит в своем составе наряду с пектином значительное количество компонентов растительной клеточной стенки, а именно целлюлозы и гемицеллюлоз.

По результатам анализа данных отечественных и зарубежных коллег одним из эффективных методов интенсификации процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья является метод обработки системы с применением УЗ воздействия [10–13].

Цель исследований – выявление влияния УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома раствором лимонной кислоты.

Задача: определить режимы УЗ воздействия в процессе экстракции пектина из ферментиро-

ванного свекловичного жома, обеспечивающие максимальную степень извлечения пектина.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования были взяты ферментированный свекловичный жом, полученный путем ферментативного гидролиза свекловичного прессованного жома с применением композиции целлюлазы, ксиланазы и протеазы, совмещенного с экстракцией, с последующим отделением экстракта, а также пектиновый экстракт, полученный из ферментированного свекловичного жома.

В качестве экстрагента для извлечения пектина нами был выбран водный раствор лимонной кислоты с концентрацией 0,33 %, который, согласно предварительно проведенным исследованиям, выполняет только функцию экстрагента, не приводя к гидролизу компонентов ферментированного свекловичного жома.

Исследование биохимического состава ферментированного свекловичного жома осуществляли согласно методам, приведенным в ГОСТ 28561-90, ГОСТ 25555.4-91, ГОСТ 26889-86, ГОСТ 29059-91 и работе А.И. Ермакова [14].

В пектиновом экстракте определяли массовую долю пектина кальций-пектатным методом [15].

Для исследования влияния УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома проводили экстракцию пектина при различных режимах.

Степень извлечения пектина Y , %, рассчитывали по формуле

$$Y = \frac{C_{п1} - C_{п2}}{C_{п1}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $C_{п1}$ – массовая доля пектина в ферментированном свекловичном жоме в пересчете на а. с. в-во до экстракции, %; $C_{п2}$ – массовая доля пектина в ферментированном свекловичном жоме в пересчете на а. с. в-во после экстракции, %.

Чистоту пектинового экстракта $Ч$, %, рассчитывали по формуле

$$Ч = \frac{П}{СВ} \cdot 100, \quad (2)$$

где $П$ – массовая доля пектина в пектиновом экстракте, %; $СВ$ – массовая доля сухих веществ в пектиновом экстракте, %.

При проведении процесса экстракции в качестве постоянных факторов были приняты: температура экстракции – 55 °С, концентрация водного раствора лимонной кислоты – 0,33 %, соотношение «ферментированный свековичный жом : водный раствор лимонной кислоты» –

1 : 10; дискретность УЗ воздействия – 10 мин; время экстракции – 60 мин.

В качестве переменных факторов были следующие: удельная мощность УЗ воздействия (X_1), Вт/см³; время УЗ воздействия (X_2), с.

Уровни варьирования переменных факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Переменные факторы и уровни их варьирования

Переменный фактор	Уровень варьирования фактора		
	нижний	средний	верхний
Удельная мощность УЗ воздействия, Вт/см ³	0,20	0,24	0,28
Время УЗ воздействия, с	10	15	20

Полученные экстракты отделяли путем фильтрования под вакуумом.

Результаты и их обсуждение. В таблице 2 приведены данные по влиянию удельной мощности и времени УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свековичного жома, а на рисунке – графическая

интерпретация полученных экспериментальных данных.

По результатам математической обработки экспериментальных данных получено уравнение (3), адекватно описывающее влияние удельной мощности и времени УЗ воздействия на степень извлечения пектина (Y , %):

$$Y = 683,125 \cdot X_1 - 2,47 \cdot X_2 - 1364,5833 \cdot X_1^2 - 2,125 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0693 \cdot X_2^2 - 46,1611 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации, характеризующий надежность уравнения регрессии R^2 , равен 0,98. Указанный коэффициент детерминации

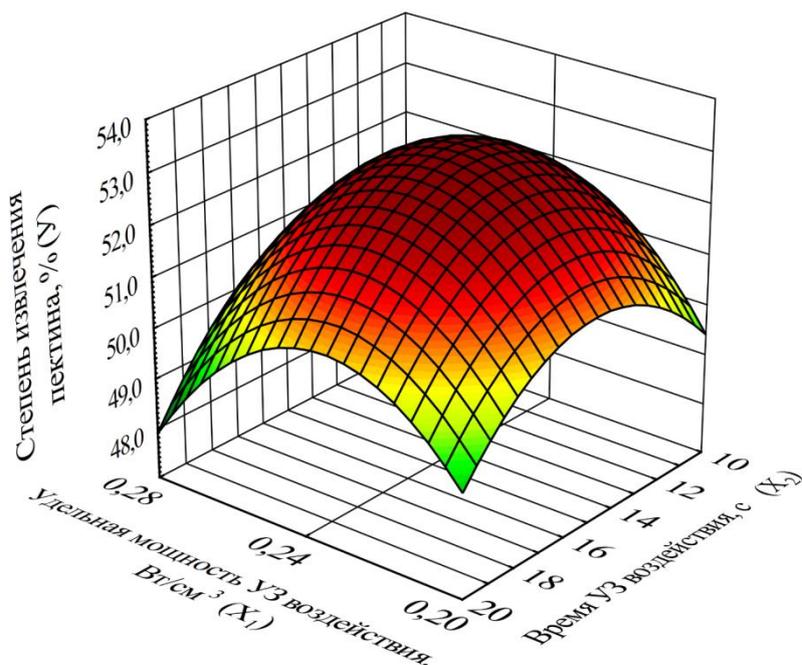
характеризует полученное уравнение как высокоточное.

Экстремум найденной функции $Y = 53,05$ находится при значениях $X_1 = 0,2393$ и $X_2 = 14,8946$.

Таблица 2

Влияние удельной мощности и времени УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свековичного жома

Номер опыта	Удельная мощность УЗ воздействия, Вт/см ³ (X_1)	Время УЗ воздействия, с (X_2)	Степень извлечения пектина, % (Y)
1	0,20	10	49,9
2	0,20	15	50,2
3	0,20	20	49,3
4	0,24	10	51,5
5	0,24	15	53,2
6	0,24	20	50,8
7	0,28	10	49,8
8	0,28	15	51,2
9	0,28	20	47,5



Влияние удельной мощности и времени УЗ воздействия на степень извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома

Таким образом, оптимальными режимами извлечения пектина из ферментированного свекловичного жома, обеспечивающими степень извлечения пектина 53,05 %, являются удельная мощность УЗ воздействия 0,24 Вт/см³ и время УЗ воздействия 15 с с дискретностью обработки 10 мин.

По выявленным оптимальным режимам УЗ воздействия в процессе экстракции был получен пектиновый экстракт.

В таблице 3 приведены физико-химические показатели качества пектинового экстракта.

Таблица 3

Физико-химические показатели качества пектинового экстракта, полученного с применением УЗ воздействия

Показатель	Значение
Значение pH	4,10
Массовая доля сухих веществ, %	0,89
Массовая доля пектина, %	0,63
Чистота пектинового экстракта, %	70,8

Из данных таблицы 3 видно, что пектиновый экстракт, полученный с применением УЗ воздействия в процессе экстракции, имеет высокую чистоту, т. е. содержание балластных веществ в его составе низкое. Этот факт очень важен при выделении пектина из пектинового экстракта путем его осаждения с применением этилового спирта с точки зрения содержания в осажденном пектине балластных веществ.

Заключение. На основании комплекса проведенных исследований можно сделать вывод, что проведение процесса экстракции пектина из ферментированного свекловичного жома с использованием водного раствора лимонной кислоты с концентрацией 0,33 % при соотношении «ферментированный свекловичный жом : водный раствор лимонной кислоты», равном 1 : 10, и УЗ воздействию с удельной мощностью 0,24 Вт/см³ в течение 15 с с дискретностью

обработки 10 мин позволяет обеспечить максимальную степень извлечения пектина – 53,05 %, при этом чистота полученного пектинового экстракта составляет 70,8 %.

Учитывая это, дальнейшими перспективными исследованиями являются исследования по разработке эффективных режимов получения пектина из пектинового экстракта.

Список источников

1. Цугленок Н.В., Цугленок Г.И., Силин В.Е. Технология производства пектина из выжимок красной смородины (*Ribes rubrum*) // Вестник КрасГАУ. 2014. № 7 (94). С. 195–198.
2. Донченко Л.В., Красносельова Е.А. Физико-химические основы процесса извлечения пектина из яблочного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5-6 (365-366). С. 14–17. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.3.
3. Донченко Л.В., Сокол Н.В., Красносельова Е.А. Пищевая химия. Гидроколлоиды. М.: Юрайт, 2019. 180 с.
4. Structural and Rheological Properties of Pectins Extracted from Industrial Sugar Beet By-Products / M.T. Pacheco [et al.] // Molecules. 2019. 24. P. 392. DOI: 10.3390/molecules24030392.
5. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology / Shamraja S. Nadar [et al.] // Food Research International. 2018. P. 309–330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006.
6. Abou-Elseoud W.S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. Vol. 2. 100042. DOI: 10.1016/j.carpta.2021.100042.
7. Enzyme- and acid-extracted sugar beet pectin as green corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution / W.S. Abou-Elseoud [et al.] // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. Vol. 2. P. 100072. DOI: 10.1016/j.carpta.2021.100072.
8. Влияние композиции ферментов и значения pH экстрагента на эффективность извлечения пектина из свекловичного жома / С.О. Семенухин [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7. С. 171–178. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-7-171-178.
9. Современные технологии получения пищевых волокон из вторичных продуктов переработки растительного сырья / М.Ю. Тамова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5-6 (365-366). С. 9–13. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.2.
10. Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Кушнаренко Л.В. Влияние условий извлечения на экстрагирование антоцианов из ягодного сырья // Вестник КрасГАУ. 2023. № 8. С. 218–226. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-218-226.
11. Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit pee / S.-Y. Xu [et al.] // LWT. 2018. Vol. 90. P. 577–582. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.01.007.
12. Wani K.M. Continuous and pulsed ultrasound-assisted extraction of pectin from pomelo fruit peel using citric acid // Biomass Conversion and Biorefinery, 2022. Vol. 2. P.14–29. DOI: 10.1007/s13399-022-03513-x.
13. Wani K.M. Characterization of pectin extracted from pomelo peel using pulsed ultrasound assisted extraction and acidic hot water extraction process // Applied Food Research, 2023. Vol. 3, I. 2. P. 100345. DOI: 10.1016/j.afres.2023.100345.
14. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков [и др.]. М.: Агропромиздат, 1987. 429 с.
15. Донченко Л.В. Технология пектинов и пектинопродуктов. М.: ДеЛи, 2000. 256 с.

References

1. Cuglenok N.V., Cuglenok G.I., Silin V.E. Tehnologiya proizvodstva pektina iz vyzhimok krasnoj smorodiny (*Ribes rubrum*) // Vestnik KrasGAU. 2014. № 7 (94). S. 195–198.
2. Donchenko L.V., Krasnoselova E.A. Fiziko-химические основы процесса izvlecheniya pektina iz yablochnogo syr'ya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya. 2018. № 5-6 (365-366). S. 14–17. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.3.

3. Donchenko L.V., Sokol N.V., Krasnoselova E.A. Pischevaya himiya. Hidrokolloidy. M.: Yurajt, 2019. 180 s.
4. Structural and Rheological Properties of Pectins Extracted from Industrial Sugar Beet By-Products / M.T. Pacheco [et al.] // Molecules. 2019. 24. P. 392. DOI: 10.3390/molecules24030392.
5. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology / Shamraja S. Nadar [et al.] // Food Research International. 2018. P. 309–330. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.03.006
6. Abou-Elseoud W.S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. Vol. 2. 100042. DOI: 10.1016/j.carpta.2021.100042.
7. Enzyme- and acid-extracted sugar beet pectin as green corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution / W.S. Abou-Elseoud [et al.] // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2021. Vol. 2. P. 100072. DOI: 10.1016/j.carpta.2021.100072.
8. Vliyanie kompozicii fermentov i znacheniya rN `ekstragenta na `effektivnost' izvlecheniya pektina iz sveklovichnogo zhoma / S.O. Semenihih [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2023. № 7. S. 171–178. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-7-171-178.
9. Sovremennye tehnologii polucheniya pischevyh volokon iz vtorichnyh produktov pererabotki rastitel'nogo syr'ya / M.Yu. Tamova [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya. 2018. № 5-6 (365-366). S. 9–13. DOI: 10.26297/0579-3009.2018.5-6.2.
10. Chesnokova N.Yu., Kuznecova A.A., Kushnarenko L.V. Vliyanie usloviy izvlecheniya na `ekstragirovanie antocianov iz yagodnogo syr'ya // Vestnik KrasGAU. 2023. № 8. S. 218–226. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-218-226.
11. Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit pee / S.-Y. Xu [et al.] // LWT. 2018. Vol. 90. P. 577–582. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.01.007.
12. Wani K.M. Continuous and pulsed ultrasound-assisted extraction of pectin from pomelo fruit peel using citric acid // Biomass Conversion and Biorefinery, 2022. Vol. 2. P.14–29. DOI: 10.1007/s13399-022-03513-x.
13. Wani K.M. Characterization of pectin extracted from pomelo peel using pulsed ultrasound assisted extraction and acidic hot water extraction process // Applied Food Research, 2023. Vol. 3, I. 2. P. 100345. DOI: 10.1016/j.afres.2023.100345.
14. Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij / A.I. Ermakov [i dr.]. M.: Agropromizdat, 1987. 429 s.
15. Donchenko L.V. Tehnologiya pektinov i pektinoproduktov. M.: DeLi, 2000. 256 s.

Статья принята к публикации 02.09.2024 / The article accepted for publication 02.09.2024.

Информация об авторах:

Наиля Мидхатовна Даишева¹, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов, кандидат технических наук

Семен Олегович Семенихин², заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов, кандидат технических наук

Владимир Олегович Городецкий³, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов, кандидат технических наук

Алла Андреевна Фабрицкая⁴, младший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Мирсабир Миразалович Усманов⁵, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Наталья Ивановна Котляревская⁶, научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов

Information about the authors:

Nailya Midkhatovna Daisheva¹, Senior Researcher, Department of Sugar and Sugar Products Technology, Candidate of Technical Sciences

Semyon Olegovich Semenikhin², Head of the Department of Sugar and Sugar Products Technology, Candidate of Technical Sciences

Vladimir Olegovich Gorodetsky³, Senior Researcher, Department of Sugar and Sugar Products Technology, Candidate of Technical Sciences

Alla Andreevna Fabrickaya⁴, Junior Researcher, Department of Sugar and Sugar Products Technology

Mirsabir Mirabzalovich Usmanov⁵, Researcher at the Department of Sugar and Sugar Products Technology

Natalia Ivanovna Kotlyarevskaya⁶, Researcher at the Department of Sugar and Sugar Products Technology

