Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-105-110 Краткое сообщение/Short message
УДК 664.1.03 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Использование предварительной заморозки для получения яблочного сока

Лилия Д. Милевская [1] liliyamilev@ya.ru 0009-0008-1890-9796
Сергей С. Коленкин [1] avp.arp@ya.ru 0009-0006-2822-9327
Евгения И. Овчинникова [1] ovchinnikovaei2099@mail.ru 0009-0004-4188-7709
Руслан А. Жлобо [1] rzhlobo@bk.ru 0000-0003-2568-2872
Максим В. Шамаров [1] schmax@mail.ru 0000-0001-7520-8621
Георгий В. Курапов [1] kurapov_georgii@mail.ru 0000-0001-8101-265X

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия

Аннотация. В настоящий момент известна рецептура производства яблочного сока, которая включает следующие основные этапы высвобождения сока из фрукта: механическое или гидравлическое прессование, центрифугирование, термическая обработка, электроплазмолиз. Была предложена и рассмотрена альтернативная технология получения сока методом предварительной заморозке сырья. В ходе исследования был проведен эксперимент по предварительной заморозки яблока сорта «Фуджи» в холодильной камере. Рассмотрена под микроскопом структура фрукта до и после заморозки. Зафиксировано время, которое понадобилось для достижения криоскопической температуры внутри плода, и используя датчик температуры «XH-W3001» была зафиксирована данная температура на отметке -4,5 °С. Выявлены сильные и слабые стороны данной технологии: С каждого килограмма замороженного сырья выделяется на 20-30% больше сока. Для получения сока механическим, гидравлическим прессованием или центрифугированием затрачиваемая мощность уменьшается, так как сила давления прессом на яблоко меньше по сравнению со стандартным методом. Скорость центрифуги требуется также меньше. Увеличение сроков хранения сырья за счет консервации способствует производить сок вне сезона. Витамин С при заморозке разрушается, это является главным недостатком по сравнению со свежевыжатым соком. Также из-за контакта ферментов полифенолоксидаза с кислородом конечный продукт может быть темнее, что нивелируется на этапе осветления яблочного сока. Данная технология хорошо показывает себя для производственных линий по изготовлению продукции, где основной упор идет на его безопасность, а не на витамин С, который добавляется на последующих этапах по производству концентрированного сока, сидра и детских товаров на основе яблока и его сока.

Ключевые слова: заморозка, яблоко, яблочный сок, структура клетки, лед, температура.

Using pre-freezing to produce apple juice

Liliia D. Milevskaia [1] liliyamilev@ya.ru 0009-0008-1890-9796
Sergey S. Kolenkin [1] avp.arp@ya.ru 0009-0006-2822-9327
Evgenia I. Ovchinnikova [1] ovchinnikovaei2099@mail.ru 0009-0004-4188-7709
Ruslan A. Zhlobo [1] rzhlobo@bk.ru 0000-0003-2568-2872
Maksim V. Shamarov [1] schmax@mail.ru 0000-0001-7520-8621
Georgiy V. Kurapov [1] kurapov_georgii@mail.ru 0000-0001-8101-265X

1 Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya Street, Krasnodar, 350072, Russia

Abstract. Currently, a known apple juice production recipe includes the following key stages of juice extraction: mechanical or hydraulic pressing, centrifugation, heat treatment, and electroplasmolysis. An alternative technology for juice extraction using pre-freezing of raw materials was proposed and examined. During the study, an experiment was conducted with pre-freezing a Fuji apple in a refrigeration chamber. The fruit's structure was examined under a microscope before and after freezing. The time required to reach cryoscopic temperature inside the fruit was recorded, and using an XH-W3001 temperature sensor, this temperature was recorded at -4,5°C. The strengths and weaknesses of this technology were identified: 20-30% more juice is extracted from each kilogram of frozen raw materials. The energy required to extract juice by mechanical, hydraulic pressing, or centrifugation is reduced, since the pressing force on the apple is less compared to the standard method. A lower centrifuge speed is also required. Extending the shelf life of raw materials through preservation facilitates the production of off-season juice. Vitamin C is destroyed during freezing, which is a major drawback compared to freshly squeezed juice. Also, due to the contact of polyphenol oxidase enzymes with oxygen, the final product may be darker, which is mitigated during the clarification stage of the apple juice. This technology is well suited for production lines where the primary focus is on juice safety, rather than vitamin C, which is added at subsequent stages in the production of concentrated juice, cider, and children's products based on apples and apple juice.

Keywords: freezing, apple, apple juice, cell structure, ice, temperature.

Для цитирования
Милевская Л.Д., Коленкин С.С., Овчинникова Е.И., Жлобо Р.А., Шамаров М.В., Курапов Г.В. Использование предварительной заморозки для получения яблочного сока // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 105–110. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-105-110

For citation
Milevskaya L.D., Kolenkin S.S., Ovchinnikova E.I., Zhlobo R.A., Shamarov M.V., Kurapov G.V. Using pre-freezing to produce apple juice. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 105–110. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-105-110

© 2026, Милевская Л.Д. и др. / Milevskaya L.D. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

При промышленном производстве яблочного сока применяют несколько способов его извлечения из плодов. При механическом или гидравлическом прессовании яблоки моют, инспектируют и измельчают до мезги, которую затем подвергают сдавливанию для отделения сока. Центрифугирование также включает мойку, сортировку и дробление плодов, после чего мезгу подают в декантеры, где она разделяется на сок и твёрдый остаток [3]. При ферментативной обработке перед прессованием или центрифугированием в мезгу вносят ферментные препараты и выдерживают её при заданной температуре: разрушение пектина делает клеточную структуру более рыхлой, что облегчает последующее отделение сока. Термическая обработка предполагает предварительный нагрев сырья с последующим отделением жидкой фазы, а электроплазмолиз – воздействие на мезгу электрическим током, после которого сок выделяется легче [16, 17].

В настоящей работе предлагается использовать технологию получения яблочного сока путём предварительной заморозки плодов [10, 12–14]. При достижении криоскопической температуры и ниже в клеточной структуре яблока происходит образование и рост кристаллов льда, приводящих к разрушению клеточных стенок. В процессе последующего размораживания внутриклеточное содержимое, в том числе сок, высвобождается, что позволяет увеличить его выход.

Цель работы – экспериментальное определение режимных параметров предварительной заморозки яблок сорта «Фуджи» и оценка изменений микроструктуры мякоти плода, обусловливающих повышение выхода сока при последующей переработке.

Материалы и методы

Для достижения переходного состояния жидкости внутри продукта использовалась холодильная камера изображенная на рисунке 1 [4, 7].

Яблоко сорта «Фуджи» с начальной температурой 17 °С помещается в теплоизолированную камеру 2. Работающий вентилятор 3 интенсифицирует циркуляцию холодного воздуха вокруг него. Испаритель 4 отводит тепло, вызывая кипение хладагента. Компрессор 5 компримирует пары хладагента. В конденсаторе 6 происходит теплоотдача и фазовый переход хладагента в жидкое состояние. Дросселирование через вентиль 7 подготавливает хладагент к возвращению в испаритель 4 для продолжения холодильного цикла [11; 6].

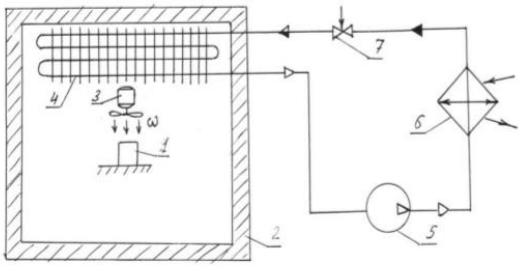


Рисунок 1. Схема холодильной камеры

Figure 1. Refrigeration chamber diagram

Для измерения температуры фрукта использовался датчик для измерения температуры «XII-W3001».



Рисунок 2. Датчик температуры «XII-W3001»

Figure 2. Temperature sensor "XII-W3001"

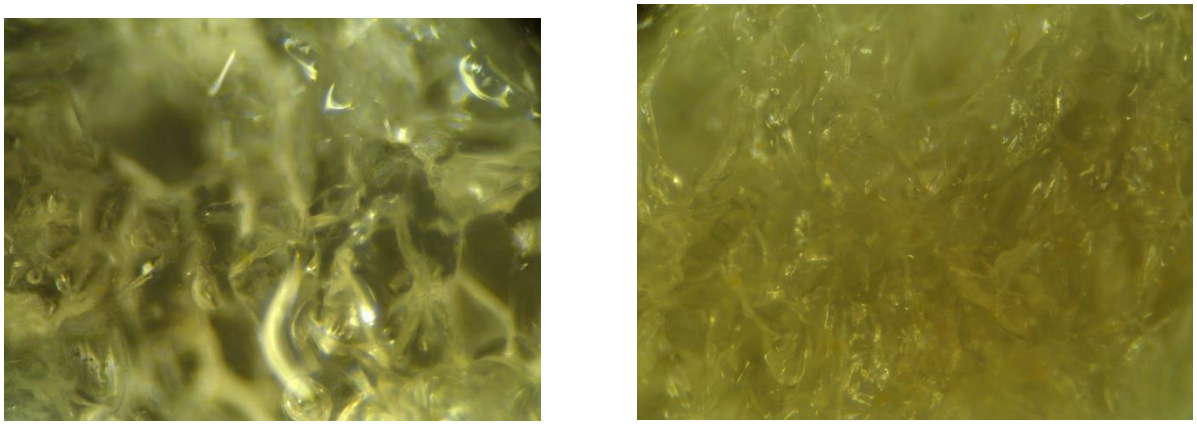
В ходе исследований измерялись следующие температуры: температура на поверхности яблока, важна для исследования процесса внешнего охлаждения и заморозки продукта. Средняя температура внутри, она помогает понять, насколько равномерно проходит охлаждение продукта послойно. Температура в глубоких слоях, чтобы выйти на нужную внутреннюю температуру продукта для фиксации переходного состояния.

Результаты и обсуждение

Необходимо при процессе заморозки добиться криоскопической температуры яблока сорта «Фуджи». Исходя из показаний датчика «XII-W3001» Была зафиксирована среднеобъемная температура, при котором начинается фазовый переход внутри продукта и составила она -4,5 °С. Время, которое было затрачено на данный процесс составило 14 мин. при скорости движения воздуха в холодильной камере 2 м/с.

Средний результат, при которой внутри продукта начинает образовываться частички льда для различных сортов яблока начинается с -2.7 до -3,7 °С, но из-за большого содержания сахара в сорте «Фуджи» данная температура составила выше [18]

На рисунке 3а приведена микроструктура мякоти яблока сорта «Фуджи» до заморозки.



(a) (b)

Рисунок 3. Микроструктура мезокарпия яблока сорта «Фуджи»: (a) – до заморозки; (b) – после

Figure 3. Microstructure of the mesocarp of the Fuji apple variety: (a) – before freezing; (b) – after

Мякоть преимущественно состоит из крупных и сочных паренхимных клеток, опорным каркасом служит клеточная стенка, которая обеспечивает хрусткость за счет упругости, это позволяет сохранять структуру клетки практически без повреждений, в отличие от быстро размягчающихся сортов. Сок хранится в больших вакуолях, которые занимают 90% внутреннего объема яблока.

На рисунке 3b приведена микроструктура мякоти яблока сорта «Фуджи» после заморозки.

Мякоть разрушена из-за воздействия низкой температуры на сок, который находится внутри вакуолей [21]. При достижении криоскопической температуры внутри продукта начинается образование кристаллов льда, что ведет к разрушению клеточной стенки [8–9].

Определено, что после достижения криоскопической температуры внутри продукта происходит разрыв клеточной стенки, и весь сок объединяется в крупные кристаллы льда, что позволяет облегчить процесс извлечения сока и увеличить его количество.

Заключение

У предлагаемой технологии имеются следующие положительные стороны: с каждого килограмма яблок выделяется на 20–30% больше сока [1–2, 5, 11]. Процесс высвобождения яблочного сока упрощается в связи с тем, что требуется меньшее давление пресса и меньшая мощность центрифуги. Также из-за контакта ферментов полифенолоксидазы с кислородом конечный продукт может быть темнее, что нивелируется на этапе осветления яблочного сока. Данная технология хорошо показывает себя для производственных линий по изготовлению продукции, где основной упор идет на его безопасность, а не на витамин С, который добавляется на последующих этапах по производству концентрированного сока, сидра и детских товаров на основе яблока и его сока [19–20]. В связи с длительной заморозкой продукта происходит его консервация, что способствует увеличению срока хранения сырья для производства сока.

Литература

1 Солопова А.А., Кобыляцкий П.С. Совершенствование технологии получения яблочных соков с помощью ферментации // Современное животноводство, инновации в производстве продуктов питания, гигиеническая и производственная безопасность: мат. междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 2. Персиановский, 24 ноября 2023 г. Персиановский: Донской ГАУ, 2023. С. 61–64.

2 Агеева Н.М., Ширшова А.А., Храпов А.А. и др. Содержание витаминов в яблочных соках и приготовленных из них сидрах // Вопросы питания. 2023. № 2 (546).

3 Велямов М.Т., Хасенова А.Қ., Садыкова Н.А. Разработка технологии изготовления плодоовощных соков прямого отжима с функциональными свойствами // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2023. № 3.

4 Жлобо Р.А., Шамаров М.В., Алешин В.И. Моделирование процесса холодильного воздействия на пищевые продукты // Вестник Дагестанского ГТУ. Технические науки. 2023. Т. 50. № 1. С. 24–32. doi: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-24-32

5 Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. Закономерности изменения показателей качества фруктов после лиофильной сушки // Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 161–167. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.020

6 Ковалева П.Е., Овсянников В.Ю. Разработка низкотемпературной холодильной камеры // Мат. студ. науч. конф. за 2025 год, Воронеж, 14–25 апреля 2025 г. Воронеж: ВГУИТ, 2025. С. 133–134.

7 Жлобо Р.А., Цуканов Д.Ю., Султанов А.А., Беззаботов Ю.С. Математическое моделирование процесса охлаждения // Наука и творчество: вклад молодежи: сб. мат. всерос. молодеж. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Махачкала, 10–11 ноября 2022 г. Махачкала: Формат, 2022. С. 13–17.

8 Антонова В.А., Корнийчук В.Г., Владимиров С.В., Бакк А.В. Влияние параметров замораживания и размера на процесс сушки яблочных выжимок в сушилке с инфракрасным нагревом // Индустрия питания. 2026. № 1.

9 Смирнова Н.Б., Звягинцев И.А. Консервирование пищевых продуктов: традиции и инновационные подходы в России // Современные подходы к обеспечению безопасности и качества сервисных услуг: сб. ст. Киров: МЦИТО, 2025. С. 234–237.

10 Губа Е.Н., Бабаков А.Н., Шпербер Д.Р. Проблемы качества быстрозамороженных фруктов // Новые вызовы для экономики России: актуальные подходы и перспективные решения: сб. науч. тр. студентов IX Междунар. межвуз. науч.-практ. конф., Краснодар, 24 апреля 2025 г. Краснодар: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2025. С. 115–122.

11 Седова И.Б., Чалый З.А., Спиридонова А.Л. и др. Изучение частоты и уровней контаминации микотоксинами фруктовых соков // Вопросы питания. 2025. № 5 (561).

12 Younas Sh., Arqam U., Wang X. et al. Ultrasound-assisted controlled ice-seeding during freezing: impact on quality attributes, freeze drying kinetics, structural modification, supercooling suppression and moisture mobility of apple // Food Control. 2026. V. 181. P. 111761. doi: 10.1016/j.foodcont.2025.111761

13 Гусейнова Б.М., Асабутаев И.Х., Даудова Т.И. Влияние низкотемпературных режимов консервирования на сохранность товарных качеств и нутриентного состава абрикосов с учетом сортовых особенностей и сроков хранения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 1.

14 Гусейнова Б.М., Асабутаев И.Х., Даудова Т.И. Влияние режимов замораживания, сроков хранения и способов дефростации на микробиоло-гические показатели качества абрикосов // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 1. С. 29–38. doi: 10.21603/2074-9414-2021-1-29-38

15 Grover K. et al. Recent developments in freezing of fruits and vegetables: striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates // Journal of Food Science. 2023. doi: 10.1111/1750-3841.16810

16 Евтихов Д.В., Гаврилов Е.А., Кравченко С.Н. Технология получения яблочного сока и переработка яблочного жмыха и некачественных яблок // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: мат. XXIII междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 04–05 декабря 2024 г. Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2024. С. 664–668.

17 Балогланова К.В.К., Фаталиев Х.К.О., Алекперов А.М.О. Исследование производства безопасного яблочного сока для получения кальвадоса // Пиво и напитки. 2020. № 3.

18 Кондратьева А.Д., Шайдуллина С.Ф., Овечкина О.Е., Игумнова О.В. Влияние низкой температуры на содержание аскорбиновой кислоты в овощах и фруктах // Химия и жизнь: сб. XXII Междунар. науч.-практ. студ. конф., Новосибирск, 18 мая 2023 г. Новосибирск: Золотой колос, 2023. С. 147–152.

19 Виденева А.П. Исследование содержания аскорбиновой кислоты в яблоках по мере их хранения и при воздействии высоких и низких температур // E-Scio. 2020. № 5 (44).

20 Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Природные пигменты в соках из овощей и фруктов: содержание антоцианинов, каротиноидов и беталаинов // Вопросы питания. 2023. № 6 (550).

21 Ribárszki Á., Székely D., Szabó-Nótin B. et al. Effect of ascorbic acid and acerola juice on some quality properties of aseptic filled apple juice // Acta Alimentaria. 2022. V. 51. № 2. P. 259–269. doi: 10.1556/066.2022.00030

22 Nadulski R. et al. Application of freezing and thawing in apple (Malus domestica) juice extraction // Journal of Food Science. 2016. V. 81. № 11. P. E2718–E2725. doi: 10.1111/1750-3841.13514

23 Carbonell-Capella J.M., Parniakov O., Barba F.J. et al. "Ice" juice from apples obtained by pressing at subzero temperatures of apples pretreated by pulsed electric fields // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2016. V. 33. P. 187–194. doi: 10.1016/j.ifset.2015.12.001

24 Effect of freeze-thaw treatment on the yield and quality of tiger nut oil // Food Chemistry: X. 2024. V. 23. P. 101733. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101733

References

1 Solopova A.A., Kobylyatsky P.S. Improvement of the technology for obtaining apple juices using fermentation. In: Modern Animal Husbandry, Innovations in Food Production, Hygienic and Industrial Safety: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. Part 2. Persianovsky, November 24, 2023. Persianovsky: Don State Agrarian University, 2023. pp. 61–64. (in Russian).

2 Ageeva N.M., Shirshova A.A., Khrapov A.A. et al. Vitamin content in apple juices and ciders made from them. Problems of Nutrition. 2023. no. 2 (546). (in Russian).

3 Velyamov M.T., Khasenova A.K., Sadykova N.A. Development of technology for the production of direct-pressed fruit and vegetable juices with functional properties. Bulletin of SUSU. Series: Food and Biotechnology. 2023. no. 3. (in Russian).

4 Zhlobo R.A., Shamarov M.V., Aleshin V.I. Modeling of the process of refrigeration impact on food products. Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2023. vol. 50. no. 1. pp. 24–32. doi: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-24-32 (in Russian).

5 Prichko T.G., Drofichova N.V. Patterns of changes in fruit quality indicators after freeze drying. Polzunovsky Bulletin. 2025. no. 1. pp. 161–167. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.020 (in Russian).

6 Kovaleva P.E., Ovsyannikov V.Yu. Development of a low-temperature refrigeration chamber. In: Proceedings of the Student Scientific Conference for 2025, Voronezh, April 14–25, 2025. Voronezh: VSUET, 2025. pp. 133–134. (in Russian).

7 Zhlobo R.A., Tsukanov D.Yu., Sultanov A.A., Bezzabotov Yu.S. Mathematical modeling of the cooling process. In: Science and Creativity: Contribution of Youth: Collection of materials of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Makhachkala, November 10–11, 2022. Makhachkala: Format, 2022. pp. 13–17. (in Russian).

8 Antonova V.A., Korniychuk V.G., Vladimirov S.V., Bakk A.V. Influence of freezing parameters and size on the drying process of apple pomace in an infrared heating dryer. Food Industry. 2026. no. 1. (in Russian).

9 Smirnova N.B., Zvyagintsev I.A. Food preservation: traditions and innovative approaches in Russia. In: Modern Approaches to Ensuring Safety and Quality of Services: Collection of articles. Kirov: MTSITO, 2025. pp. 234–237. (in Russian).

10 Guba E.N., Babakov A.N., Shperber D.R. Problems of quality of quick-frozen fruits. In: New Challenges for the Russian Economy: Current Approaches and Promising Solutions: Collection of scientific works of students of the IX International Interuniversity Scientific and Practical Conference, Krasnodar, April 24, 2025. Krasnodar: Plekhanov Russian University of Economics, 2025. pp. 115–122. (in Russian).

11 Sedova I.B., Chaly Z.A., Spiridonova A.L. et al. Study of the frequency and levels of mycotoxin contamination of fruit juices. Problems of Nutrition. 2025. no. 5 (561). (in Russian).

12 Younas Sh., Arqam U., Wang X. et al. Ultrasound-assisted controlled ice-seeding during freezing: impact on quality attributes, freeze drying kinetics, structural modification, supercooling suppression and moisture mobility of apple. Food Control. 2026. vol. 181. article 111761. doi: 10.1016/j.foodcont.2025.111761.

13 Guseynova B.M., Asabutaev I.Kh., Daudova T.I. Influence of low-temperature preservation regimes on the preservation of commercial qualities and nutrient composition of apricots taking into account varietal characteristics and storage periods. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2021. no. 1. (in Russian).

14 Guseynova B.M., Asabutaev I.Kh., Daudova T.I. Influence of freezing regimes, storage periods and defrosting methods on microbiological quality indicators of apricots. Technique and Technology of Food Production. 2021. vol. 51. no. 1. pp. 29–38. doi: 10.21603/2074-9414-2021-1-29-38 (in Russian).

15 Grover K. et al. Recent developments in freezing of fruits and vegetables: striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates. Journal of Food Science. 2023. [Online first]. doi: 10.1111/1750-3841.16810.

16 Evtikhov D.V., Gavrilov E.A., Kravchenko S.N. Technology for obtaining apple juice and processing apple pomace and substandard apples. In: Modern Trends in Agricultural Production in the World Economy: Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, December 04–05, 2024. Kemerovo: Kuzbass State Agrarian University, 2024. pp. 664–668. (in Russian).

17 Baloglanova K.V.K., Fataliev Kh.K.O., Alekperov A.M.O. Study of the production of safe apple juice for obtaining calvados. Beer and Beverages. 2020. no. 3. (in Russian).

18 Kondratyeva A.D., Shaydullina S.F., Ovechkina O.E., Igumnova O.V. Influence of low temperature on the content of ascorbic acid in vegetables and fruits. In: Chemistry and Life: Collection of the XXII International Scientific and Practical Student Conference, Novosibirsk, May 18, 2023. Novosibirsk: Zolotoy Kolos, 2023. pp. 147–152. (in Russian).

19 Videneva A.P. Study of the content of ascorbic acid in apples during their storage and under the influence of high and low temperatures. E-Scio. 2020. no. 5 (44). (in Russian).

20 Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Natural pigments in vegetable and fruit juices: content of anthocyanins, carotenoids and betalains. Problems of Nutrition. 2023. no. 6 (550). (in Russian).

21 Ribárszki Á., Székely D., Szabó-Nótin B. et al. Effect of ascorbic acid and acerola juice on some quality properties of aseptic filled apple juice. Acta Alimentaria. 2022. vol. 51. no. 2. pp. 259–269. doi: 10.1556/066.2022.00030.

22 Nadulski R. et al. Application of freezing and thawing in apple (Malus domestica) juice extraction. Journal of Food Science. 2016. vol. 81. no. 11. pp. E2718–E2725. doi: 10.1111/1750-3841.13514.

23 Carbonell-Capella J.M., Parniakov O., Barba F.J. et al. "Ice" juice from apples obtained by pressing at subzero temperatures of apples pretreated by pulsed electric fields. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2016. vol. 33. pp. 187–194. doi: 10.1016/j.ifset.2015.12.001.

24 Effect of freeze-thaw treatment on the yield and quality of tiger nut oil. Food Chemistry: X. 2024. vol. 23. Article 101733. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101733.

Сведения об авторах

Лилия Д. Милевская студент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия, liliyamilev@ya.ru
https://orcid.org/0009-0008-1890-9796

Сергей С. Коленкин студент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия, avp.arp@ya.ru
https://orcid.org/0009-0006-2822-9327

Евгения И. Овчинникова к.т.н., доцент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия, ovchinnikovaei2099@mail.ru
https://orcid.org/0009-0004-4188-7709

Руслан А. Жлобо Ст. преподаватель, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия, rzhlobo@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-2568-2872

Максим В. Шамаров к.т.н., доцент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия, schmax@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7520-8621

Георгий В. Курапов к.т.н., доцент, кафедра технической механики и специальных машин имени профессора А.А. Петрика, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская 2, г. Краснодар, 350072, Россия, kurapov_georgii@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8101-265X

Information about authors

Liliia D. Milevskaia student, Department of Technological Equipment and Life Support Systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya St. 2, Krasnodar, 350072, Russia, liliyamilev@ya.ru
https://orcid.org/0009-0008-1890-9796

Sergey S. Kolenkin student, Department of Technological Equipment and Life Support Systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya St. 2, Krasnodar, 350072, Russia, avp.arp@ya.ru
https://orcid.org/0009-0006-2822-9327

Evgenia I. Ovchinnikova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Technological Equipment and Life Support Systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya St. 2, Krasnodar, 350072, Russia, ovchinnikovaei2099@mail.ru
https://orcid.org/0009-0004-4188-7709

Ruslan A. Zhlobo Senior Lecturer, Department of Technological Equipment and Life Support Systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya St. 2, Krasnodar, 350072, Russia, rzhlobo@bk.ru
https://orcid.org/0000-0003-2568-2872

Maksim V. Shamarov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Technological Equipment and Life Support Systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya St. 2, Krasnodar, 350072, Russia, schmax@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7520-8621

Georgiy V. Kurapov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Technical Mechanics and Special Machines named after Professor A.A. Petrik, Kuban State Technological University, Moskovskaya St. 2, Krasnodar, 350072, Russia, kurapov_georgii@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8101-265X

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/05/2026	**После редакции** 15/06/2026	**Принята в печать** 01/07/2026

Received 25/05/2026	**Accepted in revised** 15/06/2026	**Accepted** 01/07/2026