



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.018



ОБРАБОТКА ЯГОД КЛУБНИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

Оксана Ивановна Андреева ¹, Иван Александрович Шорсткий ²,
Геннадий Вячеславович Семёнов ³

^{1,2} Кубанский государственный технологический университет, Россия, г. Краснодар

¹ oksana_andreeva2001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4265-9651>

² i-shorstky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

³ ФГБОУ ВО "Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

³ sgv47@yandex.ru

Аннотация. Работа направлена на оценку влияния предварительной обработки низкотемпературной плазмой клубники сорта Клери на длительность её сублимационной сушки, микроструктурные изменения и показатели качества готовой продукции. Ягоды свежей клубники были предварительно разрезаны на слайсы толщиной 3 мм. Обработка низкотемпературной плазмой (НП) осуществлялась при напряженности электрического поля 6 кВ/см, величине тока разряда 3 мА, частоте следования импульсов 1,5 кГц. В работе исследовалось влияние воздействия НП как на свежие, так и на предварительно замороженные образцы слайсов клубники. Вакуум-сублимационную сушку проводили на лабораторной установке при давлении в сушильной камере 50±10 Па, температуре полок 40 °С и температуре десублиматора – 35 °С. Показано, что обработка НП способствует формированию объемной развитой структуры поверхности фазового перехода лёд-пар при вакуум-сублимационной сушке благодаря эффекту электропорации мембран растительных клеток в объеме. Обработка НП снижает длительность сушки слайсов клубники на 47–89 минут для достижения целевого показателя массовой доли влаги 5 %. Затраты электроэнергии на обработку НП в сравнении с общими затратами на вакуум-сублимационную сушку составляют менее 1 %. На основе полученных экспериментальных данных рекомендовано в технологической линии ВСС использовать обработку НП для предварительно замороженной клубники.

Ключевые слова: клубника, низкотемпературная плазма, сублимационная сушка, заморозка, энергоэффективность, регидратация, качество, микроструктура, витамин С.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям.

Для цитирования: Андреева О. И., Шорсткий И. А., Семенов Г. В. Обработка ягод клубники низкотемпературной плазмой для интенсификации процесса сублимационной сушки и повышения их качества // Ползуновский вестник. 2025. № 4, С. 109–113. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/ABPSJC>.

Original article

STRAWBERRY BERRY TREATMENT WITH LOW-TEMPERATURE PLASMA TO INTENSIFY FREEZE-DRYING PROCESS AND IMPROVE THEIR QUALITY

Oksana I. Andreeva ¹, Ivan A. Shorstkii ², Gennady V. Semenov ³

^{1,2} Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia,

¹ oksana_andreeva2001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4265-9651>

² i-shorstky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

³ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University

³ sgv47@yandex.ru

Abstract. The work is aimed at assessing the effect of pretreatment with low-temperature plasma of Clery strawberries on the duration of freeze-drying, microstructural changes and quality indicators of finished products. The fresh strawberries were pre-cut into 3mm thick slices. Low-temperature plasma (NP) treatment was performed at an electric field strength of 6 kV/cm, a discharge current of 3 mA, and a pulse repetition rate of 1.5 kHz. The work investigated the effect of NP exposure on both fresh and pre-frozen samples of strawberry slices. Vacuum freeze drying was carried out in a laboratory installation at a pressure in the drying chamber of 50±10 Pa, a shelf temperature of 40 °C and a desublimator temperature of -35 °C. It is shown that NP treatment contributes to the formation of a volumetric developed surface structure of the ice-vapor phase transition during vacuum-freeze drying due to the effect of electrical insulation of

© Андреева О. И., Шорсткий И. А., Семенов Г. В., 2025

plant cell membranes in volume. NP treatment reduces the drying time of strawberry slices by 47-89 minutes to achieve the target moisture content of 5 %. The cost of electricity for processing NP in comparison with the total cost of vacuum freeze drying is less than 1 %. Based on the experimental data obtained, it is recommended to use NP processing for pre-frozen strawberries in the BCC production line.

Keywords: strawberries, low-temperature plasma, freeze-drying, freezing, energy efficiency, rehydration, quality, microstructure, vitamin C.

Financing: The research was carried out with the financial support of the Foundation for the Promotion of Innovation.

For citation: Andreeva, O.I., Shorstky, I.A. & Semenov, G.V. (2025). Strawberry berry treatment with low-temperature plasma to intensify freeze-drying process and improve their quality. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 109-113. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/ABPSJC>.

ВВЕДЕНИЕ

В современной структуре питания клубника занимает всё более важное место по причине привлекательного вкуса, содержания в ней антоцианов, полифенолов, витамина С и других питательных веществ [19]. По прогнозам, объем мирового рынка свежей клубники к 2026 году достигнет более 2,1 млрд. рублей при среднегодовом темпе роста 3,4 % [22]. Российское производство переработанных ягод за последние пять лет года выросло в 2 раза: с 4,2 тыс. тонн в 2018 году до 7,7 в 2023 году, с перспективой дальнейшего увеличения на 15 % к 2026 году [23, 24]. Растущие объемы производства клубники и невозможность длительного хранения в сыром виде привели к созданию и росту во всем мире индустрии быстро замороженных ягод [15]. При всех достоинствах этого способа сохранения он обладает и рядом недостатков. Хранение, упаковка, транспортировка замороженной клубники сопряжены с необходимостью наличия качественной холодильной цепи. Размороженные ягоды деформируются, теряют потребительскую привлекательность. Отмечается значительное ухудшение витаминного состава в результате холодильного хранения.

Широко используемой технологией сохранности растительного сырья с давних времен является тепловая сушка при атмосферном давлении. Однако традиционно применяемые методы такой сушки приводят к снижению качества сушеных продуктов, в том числе к ухудшению цвета, изменению формы и потере питательных веществ [3].

Развитие холодильной и вакуумной техники послужили основой создания и развития сушки с использованием удаления влаги в вакууме фазовым переходом "лед-пар" из предварительно замороженного сырья. Вакуумная сублимационная сушка (ВСС) представляет собой высокоэффективный метод в шадящих температурных режимах и считается прекрасным методом сушки, позволяющим максимально сохранить цвет, аромат, вкус, форму и питательные вещества высушенных продуктов [21]. Однако ВСС остается пока энергоемким и дорогостоящим методом консервации. Одним из направлений повышения эффективности ВСС является обработка сырья, например, механическое предварительное удаление части влаги, формирование развитой структуры с использованием электрофизических методов. К числу электрофизических методов можно отнести обработку СО-2 лазером, обработку ультразвуком [15, 18, 4], осмотическая [5], импульсным электрическим полем в проводящей среде [2].

Обзор зарубежной литературы и результаты наших обширных исследований показывают, что наиболее перспективным методом предварительной обработки является применение НП (низкотемпературной плазмы). Обработку НП можно проводить при

атмосферных условиях как для целых, так и нарезанных ягод. По мере развития технологии НП начали использовать в задачах модификации поверхностной и внутренней структуры пищевого сырья и проявлению так называемых эффектов «травления», способствующих изменению капиллярно-пористой структуры материала [14]. Ряд научных работ показывает, что поверхностный эффект от воздействия низкотемпературной плазмы ускоряет процессы сублимационной сушки пищевого растительного сырья [2, 8, 10, 13, 16].

В связи с этим, целью представленной работы являлось исследование применения метода обработки НП ягод клубники на этапе подготовки к сушке. В ходе выполнения работы решались следующие задачи: 1) оценить воздействие предварительной обработки низкотемпературной плазмы на эффективность отвода влаги и изменение микроструктуры клубники; 2) выявить влияние предварительной обработки низкотемпературной плазмы на показатели сушки во время ВСС; 3) определить показатели качества, включая общее содержание витамина С и полифенольных веществ в сублимированных в вакууме слайсах клубники, предварительно обработанных низкотемпературной плазмой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования представлена свежая клубника сорта Клери 2024 года урожая. Начальная влажность ягоды составляла $92 \pm 0,5$ %. Определение влажности происходило на анализаторе влажности ЭВЛАС-2М (Россия) при температуре нагрева 120 °С, с порогом чувствительности 0,03 %.

Электрофизическая обработка клубники проводилась в несколько этапов. Всего для исследования было подготовлено 5 образцов (рисунок 1). Определение влажности полученных образцов также проводилось на анализаторе ЭВЛАС-2М (Россия) при тех же параметрам камеры анализатора.

Заморозка всех образцов выполнялась в шкафу шоковой заморозки Abat ШОК-6-1/1 (Abat, Россия). Температура внутри шкафа шоковой заморозки составляла -35 °С, время заморозки – 240 минут.

Обработка образцов клубники низкотемпературной плазмой осуществлялась на установке АЛ-480 (Техника плазмы, Россия) в режиме слаботоочного разряда в воздушном зазоре. Длительность обработки навески 1000 г проводилась в течение 1 минуты. Величина напряженности электрического поля при обработке составляла 6 кВ/см, величина тока 3 мА. Частота следования импульсов – 1,5 кГц. Детальное описание установки представлено в работе [22].

Вакуум-сублимационную сушку осуществляли в лабораторном аппарате LAB 3 (СХ-техника, Россия) при температуре нагрева полок 40 °С, давлении в камере 50±10 Па. Температура десублиматора составляла минус 35 °С. Перед началом процесса тем-

ОБРАБОТКА ЯГОД КЛУБНИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

пературы всех образцов выравнивали до -18°C . Общая длительность сушки составила 240 минут.

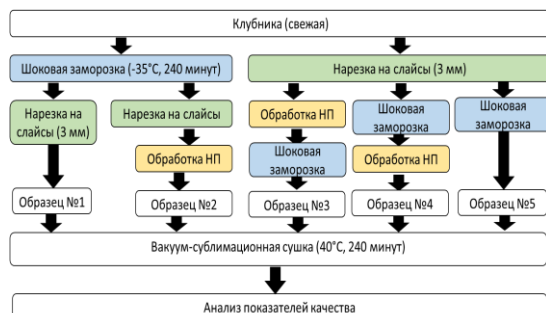


Рисунок 1 – Методика обработки образцов клубники

Figure 1 – Strawberry sample processing procedure

Регидратацию осуществляли при температуре 20°C . Высушенный материал погружали в дистиллированную воду на 1, 3, 5 и 10 мин. Через обозначенный промежуток времени образцы вынимали из воды с помощью сита, удаляли лишнюю влагу с помощью бумажных полотенец и взвешивали. Величину регидратации определяли по формуле:

$$K = \frac{u_t}{u_0}, \quad (1)$$

где u_t – влагосодержание регидратированной клубники в момент времени t (кг влаги/кг сухого вещества), u_0 – влагосодержание исходного образца (кг влаги/кг сухого вещества).

Анализ качества сублимированного продукта

Определение содержания витамина С проводили по ГОСТ 24556-89, пункт 3.

Измерение оптической плотности осуществляли на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ (Россия).

Анализ содержания общих полифенольных веществ, мг %, проводился по методике основ биохимии фенольных соединений М.Н. Запрометова. Колориметрический метод с использованием реактива Фолина-Дениса [20].

Удельное потребление энергии в расчете на единицу сублимированной продукции было рассчитано следующим образом [22]:

$$W_{уд} = \frac{W_{суб} + W_{НП}}{M_{прод}}, \quad (2)$$

где $W_{ИК}$ – энергопотребление сублимационной установки за цикл сублимации кВт; $W_{НП}$ – энергопотребление НП на стадии предварительной обработки за единицу массы образца, кВт; $M_{прод}$ – масса сублимата, кг. Значение $W_{суб}$ было получено с помощью измерителя мощности во время экспериментов. Величину $W_{НП}$ определяли по вольт-амперной характеристике, описанной в [2], с помощью уравнения (3):

$$W_{НАП} = n \cdot \int U(t) \cdot I(t) \cdot dt, \quad (3)$$

где n – количество импульсов, $U(t)$ – мгновенные напряжения на электродах, $I(t)$ – ток разряда, проходящий через образец.

Микроструктуру полученных образцов исследовали на оптическом микроскопе МИН-8 при атмосферном давлении и электронном микроскопе фирмы Zeiss Supra 40VP при увеличении 50х в условиях низкого вакуума.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью метода математической статистики. Все эксперименты проводили с трехкратной повторностью. Статистический анализ проводился с помощью программ STATISTICA 13 (Statsoft, США) и Excel (Microsoft, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ микроструктуры среза ягоды клубники показывает, что обработка НП способствует формированию развитой объемной структуры ягоды за счет мультифрактального распространения электрического разряда вглубь диэлектрика. На рисунке 2 представлена структура поверхности среза клубники после обработки и изображение электронного микроскопа среза. Наличие созданного НП канала в структуре материала имеет диаметр 580 мкм. Стоит отметить, что для среза клубники 3 мм область обработки проходит через всю толщину в виде объемного фронта. Результат электрофизического воздействия схож с воздействием СО-2 лазера [10], однако в отличие от упомянутого метода имеет объемный фронт обработки вокруг основного канала диаметром ~ 10 мм.

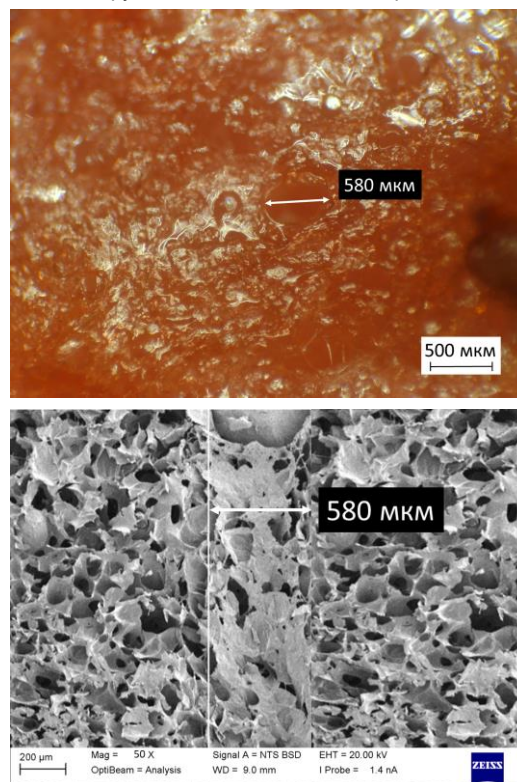


Рисунок 2 – Поверхность среза клубники, полученная с оптического микроскопа и срез полученного канала на сканирующем электронном микроскопе

Figure 2 – The surface of a strawberry slice obtained from an optical microscope and a slice of the resulting channel on a scanning electron microscope

Влияние НП на кинетику сушки срезов клубники

Результаты вакуум сублимационной сушки срезов клубники до достижения целевого показателя массовой доли влаги 5 % показаны на рисунке 3.

Образцы, предварительно обработанные НП (образцы 2–4), показали лучшую динамику сушки по сравнению с контрольными образцами 1 и 5. Эффект от обработки НП на сыром материале меньше, чем для предварительно замороженного сырья, что может быть связано с эффектом затягивания сформированных каналов при заморозке. Так, в работе по применению технологии ИЭП показано, что интенсивность обработки способствует формированию обратимых и необратимых каналов в структуре растительных материалов [7]. Полученный результат сопоставим с методами обработки СО-2 лазером, в котором длительность сушки была снижена на 20 % [11]. В отличие от метода СО-2 лазера в данной работе развивается электрофизиче-

ская обработка объемного принципа действия, направленная на объем материала, а не на его локальный участок.

Наилучший результат продемонстрировал образец № 4. Этот результат соответствует технологическому процессу: *заморозка* → *обработка НП* → *вакуум-сублимационная сушка*. Обработка НП для образца № 4 позволила сократить время сушки на 89 минут. При производительности производственной линии 5 тонн в сутки производительность линии можно увеличить до 6 тонн за счет снижения длительности цикла сублимации. Таким образом, обработку НП рекомендуется проводить на предварительно замороженном материале.

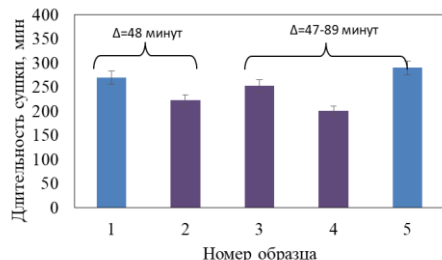


Рисунок 3 – Результаты сушки слайсов клубники для различных образцов

Figure 3 – Results of drying strawberry slices for various samples

Кривая регидратации для образцов 4 и 5 представлена на рисунке 4.

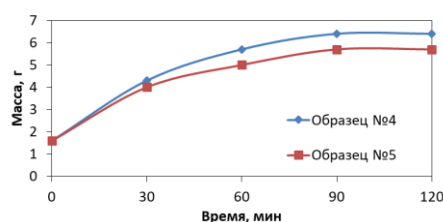


Рисунок 4 – Исследование коэффициента регидратации образцов клубники

Figure 4 – Study of the rehydration coefficient of strawberry samples

Результат проведенных исследований показывает, что образец сублимированной клубники № 4, подвергнутый предварительной обработке НП, обладает лучшей степенью регидратации в сравнении с образцом, не прошедшим обработку. Данный результат можно объяснить наличием дополнительных каналов (мультифрактальной структуры), получившихся после обработки НП, способствующих влаге свободно проходить в исследуемый образец. Анализ регидратации показывает, что наличие образованных пор в процессе предварительной обработки НП дает возможность повысить гироскопические свойства сублимированной клубники, образец быстрее восстанавливает свои первоначальные свойства и лучше удерживает влагу. Согласно экспертной оценке внешнего вида ягод – в случае обработки НП регидратированные обладают более близким к естественному внешнему видом.

Как показано в работе Zhou и Vidyarthi и др. [17], волчья ягода, обработанная НП, продемонстрировала более высокий коэффициент регидратации, чем контрольные образцы, среди которых обработка в течение 60 секунд обеспечила самое высокое значение ($KP = 2,55$). Кроме того, авторами [5] также показана способность электрофизической обработки на примере импульсного электрического поля повысить способность к регидратации до 50 % для образцов сублимированной клубники и красного болгарского перца. Возможным объяснением этих улучшенных свойств регидратации является то, что электропорация вызывает изменения в тка-

нях и увеличивает количество пор. Аналогичные результаты получены при сублимации красного перца с предварительной обработкой НП [16].

Анализ содержания витамина С и общих полифенольных соединений представлен в таблице 1 для образцов 4 и 5.

Таблица 1 – Исследование содержания витамина С и полифенольных веществ в слайсах клубники

Table 1 – Study of the content of vitamin C and polyphenolic substances in strawberry slices

Образец	Содержание витамина С, мг %	Содержание общих полифенольных веществ, мг %
Образец № 5 (без обработки)	592,2±5,9	4740,8±47,4
Образец № 4 (с обработкой НП)	625,1±6,3	4828,1±48,3

Многочисленное увеличение внутренней поверхности образцов приводит к улучшению условий выделения витамина С. Кроме этого, дополнительным фактором сохранности является и сокращение длительности термического воздействия в ходе высушивания.

В работе Zhang и др. [16] отмечается, что содержание биологически активных веществ (в том числе полифенольных веществ) в образцах, обработанных НП, сначала увеличивалось, а затем уменьшалось по мере увеличения времени обработки НП, при этом пик наблюдался в образцах, обработанных в течение 30 или 45 секунд. Аналогичным образом было подтверждено, что общее содержание флавоноидов (в том числе полифенольных веществ) свежевыжатого сока питания [9], гранатового сока [6] и черники [12] повышается при обработке низкотемпературной плазмой.

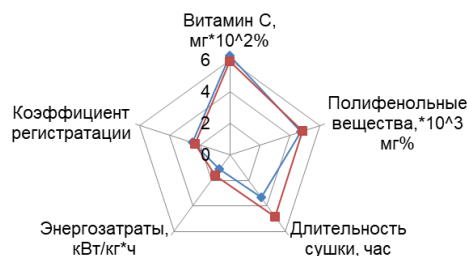


Рисунок 5 – Исследование на основные показатели сублимационной сушки в образцах клубники (♦ – образец № 4, ■ – образец № 5), порезанных на слайсы

Figure 5 – Study on the main indicators of freeze drying in strawberry samples (♦ - sample No. 4, ■ - sample No. 5), cut into slices

Общая оценка эффективности НП

Используя выражения (2)-(3) и данные осциллограмм НП, были рассчитаны удельные энергозатраты на проведения процесса вакуум-сублимационной сушки слайсов клубники на лабораторной установке. Результаты показали, что величина энергетических затрат на обработку НП составляет менее 1 % от затрачиваемых вакуум-сублимационной установкой, поэтому ими можно пренебречь. На рисунке 5 представлены обобщенные данные по сравнительному анализу образцов 4 и 5 сублимированного слайса клубники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования дана оценка влияния предварительной обработки низкотемпературной плазмой на эффективность отвода влаги, микроструктурные изменения и показатели качества при вакуум-сублимационной сушке слайсов клубники. На основе анализа микроструктуры выявлено, что после обработки НП в структуре образцов клубники образуется объемная развитая структура, способствующая увеличению площади влагоудале-

ОБРАБОТКА ЯГОД КЛУБНИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ И ПОВЫШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

ния. За счет этого уменьшается общая длительность вакуумно-сублимационной сушки обработанных образцов, что, в свою очередь, уменьшает энергетические затраты. Наличие объемной развитой структуры повышает регидратационные свойства сублимированной клубники, образец быстрее восстанавливает свои первоначальные свойства и лучше удерживает влагу. Обработка НП позволяет повысить показатели качества, в частности содержания витамина C и полифенольных веществ, за счет многократного увеличения внутренней поверхности образцов. Рекомендовано в технологической линии ВСС использовать обработку НП для предварительно замороженных продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shorstkii I.A. Cold Plasma Pretreatment in Plant Material Drying // Food Processing: Techniques and Technology. 2022. № 3 (52). С. 613–622.
2. Andreeva O.I., Shorstkii I.A. Innovative physical techniques in freeze-drying // Foods and Raw Materials. 2025. № 2 (13). С. 341–354.
3. Artyukhova S.I., Kozlova O.V., Tolstoguzova T.T. Developing freeze-dried bioproducts for the Russian military in the Arctic // Foods and Raw Materials. 2019. № 1 (7). С. 202–209.
4. Deng L.Z. [и др.]. High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying quality of apricots by inactivating the enzymes, reducing drying time and altering cellular structure // Food Control. 2019. № September 2018 (96). С. 104–111.
5. Fauster T. [и др.]. Effect of pulsed electric field pretreatment on shrinkage, rehydration capacity and texture of freeze-dried plant materials // Lwt. 2020. № August 2019 (121). С. 108937.
6. Herceg Z. [и др.]. Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice // Food Chemistry. 2016. (190). С. 665–672.
7. Lammerskitten A. [и др.]. Pulsed electric field pretreatment improves microstructure and crunchiness of freeze-dried plant materials: Case of strawberry // Lwt. 2020. № April (134). С. 110266.
8. Li J., Zhou Y. & Lu W. Enhancement of Haskap Vacuum Freeze-Drying Efficiency and Quality Attributes Using Cold Plasma Pretreatment // Food Bioprocess Technol. 2023.
9. Li X. [и др.]. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit // Lwt. 2019. № July (115). С. 108447.
10. Loureiro A. da C. [и др.]. Cold plasma technique as a pretreatment for drying fruits: Evaluation of the excitation frequency on drying process and bioactive compounds // Food Research International. 2021. № February (147).
11. Pinto M. [и др.]. Application of CO₂-Laser Micro-Perforation Technology to Freeze-Drying Whole Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.): Effect on Primary Drying Time and Fruit Quality // Foods. 2024. № 10 (13).
12. Sarangapani C. [и др.]. Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2017. (44). С. 235–241.
13. Shishir M.R.I. [и др.]. Cold plasma pretreatment—A novel approach to improve the hot air drying characteristics, kinetic parameters, and nutritional attributes of shiitake mushroom // Drying Technology. 2020. № 16 (38). С. 2134–2150.
14. Shorstkii I., Mounassar E.H.A. Atmospheric Microplasma Treatment Based on Magnetically Controlled Fe–Al Dynamic Platform for Organic and Biomaterials Surface Modification // Coatings. 2023. № 8 (13).
15. Xu B. [и др.]. Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound pretreatment on the vacuum freeze-drying process and quality attributes of the strawberry slices // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. (78).
16. Zhang X.L. [и др.]. Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) // Journal of Food Engineering. 2019. № March 2018 (241). С. 51–57.
17. Zhou Y.H. [и др.]. Cold plasma enhances drying and color, rehydration ratio and polyphenols of wolfberry via microstructure and ultrastructure alteration // Lwt. 2020. № September (134). С. 1–7.
18. Анисимова К.В., Поробова О.Б.А.А.Б. Интенсификация безвакуумной сублимационной сушки плодов за счет звукового поля // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 100 (2). С. 103–106.
19. Елисеева Т., Тарантул А. Клубника (лат. *Fragaria*) // Журнал здорового питания и диетологии. 2019. № 8. С. 38–51.
20. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений: учеб. пособие для студ. биолог. спец. университетов / М.Н. Запрометов. 1974. 75 с.
21. Семенов Г.В., Краснова И.С. Сублимационная сушка 2021.
22. Соснин М.Д., Шорсткий И.А. Сушка яблочных чипсов с применением интеллектуальной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой // Техника и технология пищевых производств. 2023. № 2 (53). С. 368–383.
23. Наталья Шаповалова: Сетевые сообщества// AgroXXI.ru: агропромышленный портал, 2020. URL: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozjaistvennyh-tovarov/jagodnyi-biznes-2020-goda-obem-pererabotki-velichitsja-na-18-deficit-svezhih-jagod-sohranitsja.html>. (дата обращения: 04.07.2024).
24. Российская газета: электрон. версия газеты. 2023. № 132. URL: <https://rg.ru/2023/06/20/reg-cfo/lidiruet-klubnika.html>. (дата обращения: 04.07.2024).

Информация об авторах

О. И. Андреева – бакалавр направления «Технологические машины и оборудование», инженер-проектировщик Лаборатории передовых электрофизических технологий и новых материалов, Кубанский Государственный технологический университет.

И. А. Шорсткий – к.т.н., руководитель Лаборатории передовых электрофизических материалов и новых материалов, Кубанский Государственный технологический университет.

Г. В. Семенов – д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Information about the authors

O.I. Andreeva - Bachelor's Degree in Technological Machinery and Equipment, Design Engineer of the Laboratory of Advanced Electrophysical Technologies and New Materials, Kuban State Technological University.

I.A. Shorstkii - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Advanced Electrophysical Materials and New Materials, Kuban State University of Technology.

G.V. Semenov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Bio-Technological University (ROSBIO-TECH).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2025; одобрена после рецензирования 24 ноября 2025; принята к публикации 28 ноября 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2025; approved after editing on 24 Nov 2025; accepted for publication on 28 Nov 2025.