



КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ
И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

QUALITY CONTROL AND SAFETY
OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS
AND PROCESSED PRODUCTS

УДК 664.854

DOI:10.31677/2311-0651-2025-50-4-8-42

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ СУХОФРУКТОВ: ОБЗОР

¹Л. Ч. Бурак, доктор философии в области пищевых наук

²А. Н. Сапач, аспирант

³А. А. Лукин, кандидат технических наук, доцент

^{1,2}Общество с ограниченной ответственностью «БЕЛПРОСАКВА»

³Южно-Уральский государственный аграрный университет

E-mail: leonidburak@gmail.com

Ключевые слова: фрукты, закуски, вакуумная пропитка, осмотическая дегидратация, ультразвук, холодная плазма, импульсное электрическое поле, качество, пищевая ценность, гибридная сушка.

Реферат. Традиционные пищевые привычки, включающие употребление ультраобработанных продуктов с низкой калорийностью, высоким содержанием сахара и соли, а также недостаточное потребление свежих фруктов и овощей, отрицательно влияют на здоровье человека. Из-за сезонности сырья и ограниченного доступа к свежим фруктам и овощам данные продукты зачастую присутствуют на рынке в сушеном виде, что обеспечивает их длительный срок хранения. Цель данного исследования – обзор и анализ современных технологий и способов получения качественных сушеных фруктов и закусок на их основе, обладающих высокой пищевой ценностью и приемлемыми органолептическими показателями. В качестве материалов для настоящего обзора использованы результаты научных исследований, опубликованные в период 2015–2025 гг. Научный поиск источников по теме исследования проводили по ключевым словам в библиографических базах Scopus, Web of science, PubMed и Google Scholar. Анализ данных выполнен с их систематизацией, обобщением, промежуточными выводами и общим заключением. Обзор научных публикаций показал, что с целью обеспечения высокой пищевой ценности, максимального сохранения биологически активных соединений, качества и безопасности, длительного срока хранения сушёных фруктов и закусок применяют различные современные нетермические методы предварительной обработки перед сушкой, такие как импульсное электрическое поле, ультразвуковая обработка, высокогидростатическая обработка, импульсный свет и холодная плазма. Вакуумная пропитка, осмотическое обезвоживание перед сушкой способствуют повышению пищевой ценности сухофруктов, а также энергоэффективности процесса сушки. Важный и перспективный подход к производству сушеных закусок предполагает вовлечение побочных продуктов пищевой промышленности, включая отходы фруктов. Эта стратегия не только решает проблемы пищевых отходов, но и создает закуски или ингредиенты, богатые питательными веществами. Дальнейшие исследования должны быть направлены на установление оптимальных режимов обработки сырья с целью повышения энергоэффективности процесса сушки плодоовощного сырья при производстве закусок с максимальным сохранением пищевой ценности, улучшением органолептических показателей качества и повышением общей приемлемости для потребителей.

MODERN METHODS OF PRE-PROCESSING TO IMPROVE THE QUALITY AND NUTRITIONAL VALUE OF DRIED FRUITS. A REVIEW

¹L. Ch. Burak, PhD in Food Science

²A. N. Sapach, Graduate Student

³A. A. Lukin, PhD of Technical Sciences, Associate Professor

^{1,2}Limited Liability Company "BELROSAKVA"

³South Ural State Agrarian University

Keywords: fruits, snacks, vacuum impregnation, osmotic dehydration, ultrasound, cold plasma, pulsed electric field, quality, nutritional value, hybrid drying.

Abstract. *Traditional dietary habits, including the consumption of ultra-processed foods low in calories, high in sugar and salt, and insufficient consumption of fresh fruits and vegetables, negatively impact human health. Due to the seasonality of raw materials and limited access to fresh fruits and vegetables, these products are often available on the market in dried form, which ensures a long shelf life. The aim of this study is to review and analyze modern technologies and methods for producing high-quality dried fruits and fruit-based snacks with high nutritional value and acceptable organoleptic properties. The materials for this review are the results of scientific studies published between 2015 and 2025. A scientific search for sources on the topic of study was conducted using keywords in the bibliographic databases Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar. The data analysis included their systematization, generalization, interim findings, and an overall conclusion. A review of scientific publications revealed that various modern non-thermal pre-drying treatment methods, such as pulsed electric fields, ultrasonic treatment, high-hydrostatic treatment, pulsed light, and cold plasma, are used to ensure high nutritional value, maximum preservation of bioactive compounds, quality and safety, and a long shelf life of dried fruits and snacks. Vacuum impregnation and osmotic dehydration before drying contribute to increasing the nutritional value of dried fruits and improving the energy efficiency of the drying process. An important and promising approach to the production of dried snacks involves the use of food industry by-products, including fruit waste. This strategy not only addresses food waste but also creates nutrient-rich snacks or ingredients. Further research should be aimed at establishing optimal raw material processing regimes to improve the energy efficiency of the fruit and vegetable drying process for snack production, maximizing nutritional value preservation, improving organoleptic quality, and enhancing overall consumer acceptance.*

Современные технологические процессы в производстве пищевых продуктов направлены на улучшение качественных характеристик продукции, обеспечение ее безопасности и увеличение сроков годности при сохранении пищевой ценности продуктов. Глобальное развитие связано с применением инновационных технологических решений, которые учитывают общественные, экологические и социальные вызовы, создавая тем самым продовольственную безопасность [1]. Вместе с тем современная критика пищевой промышленности связана с производством ультрапереработанных продуктов, потребление которых ассоциируется с вредными для здоровья последствиями из-за высокого содержания добавленных сахаров, трансжиров и соли, способствующих развитию хронических заболеваний [2; 3]. По мере роста осведомленности потребителей о здоровье и увлеченности продуктами с высокой пищевой ценностью производители внедряют инновационные решения для улучшения ассортимента выпускаемой пищевой продукции. Сухофрукты все чаще рассматриваются как более полезная альтернатива сладким или соленым перекусам, в рекомендациях по питанию в различных странах их регулярно включают в список рекомендуемых к употреблению продуктов [4]. Мировой рынок сушеных фруктов обеспечивает устойчивый рост, что способствует расширению их ассортимента. Сушеные фрукты и закуски из них представляют собой удобную и питательную альтернативу свежим фруктам, обладая при этом некоторыми преимуществами, приобретаемыми в результате процесса сушки [5; 6]. Удаление влаги эффективно концентрирует питательные вещества, сохраняя большинство минералов и пищевых волокон, содержащихся в свежих фруктах [7; 8]. По сравнению с закусками со вкусом фруктов закуски из сухофруктов имеют самую высокую плотность питательных веществ и уровень содержания клетчатки, при этом они содержат наименьшее количество добавленного сахара [9]. Более того, исследования показали, что закуски из сухофруктов соответствуют дей-

ствующим рекомендациям органов здравоохранения по питанию, что указывает на потенциал таких закусок как готовых к употреблению питательных продуктов. Сухофрукты ценятся не только за удобство и длительный срок хранения, но и за их высокую пищевую ценность. Они, как правило, богаты углеводами, пищевыми волокнами, характеризуются небольшим количеством белка и незначительным количеством жира. Обычные сухофрукты содержат множество микроэлементов и являются значительным источником биоактивных соединений, таких как полифенолы, флавоноиды и каротиноиды, которые способствуют антиоксидантной активности продукта, оказывают благоприятное влияние на здоровье человека, включая противовоспалительное и кардиопротекторное действие (табл. 1) [10–12].

Таблица 1

Основной состав и биологически активные соединения традиционных сухофруктов [13]
Main composition and biologically active compounds of traditional dried fruits [13]

Наименование продукта	Основные макроэлементы г/100г	Основные микроэлементы Мг/100г	Основные биологически активные вещества	Антиоксидантная активность: DPPH, мг ААЕ/100 г сухой массы; ORAC, моль ТЕ/100 г
1	2	3	4	5
Яблоко	углеводы: 66 г, белки: 0,9 г, клетчатка: 8,7 г	Ca: 14, Fe: 1,4, Mg: 16, Na: 87, K: 450, Cu: 0,2	всего фенолов: 916 мг ААЕ/100 г сухой массы	DPPH – 875 ORAC – 6 621
Клюква	углеводы: 82,8 г, белки: 0,17 г, клетчатка: 5,3 г	Ca: 9, Fe: 0,39, Mg: 4, Na: 5, K: 49, Cu: 0,06	всего фенолов: 1 819 мг ААЕ/100 г сухой массы; флавоноиды: 7,66 мг/100 г; флавонолы: 4,50 мг/100 г	DPPH – 3 079 ORAC – н/д
Персик	углеводы: 61,3 г, белки: 3,61 г, клетчатка: 8,2 г	Ca: 28, Fe: 4,06, Mg: 42, Na: 7, K: 996, Cu: 0,36	всего фенолов: 1 260 мг ААЕ/100 г сухой массы; β-каротин: 1 074 мкг; лютеин-зеаксантин: 559 мкг	DPPH – 1 442 ORAC – 4 222
Груша	углеводы: 69,7 г, белки: 1,87 г, клетчатка: 7,5 г	Ca: 34, Fe: 2,1, Mg: 33, Na: 6, K: 533, Cu: 0,37	всего фенолов: 1 196 мг ААЕ/100 г сухой массы; β-каротин: 2 мкг; лютеин-зеаксантин: 50 мкг	DPPH – 1 301 ORAC – 9 496
Слива	углеводы: 63,9 г, белки: 2,18 г, клетчатка: 7,1 г	Ca: 43, Fe: 0,93, Mg: 41, Na: 2, K: 732, Cu: 0,28	всего фенолов: 1 032 мг ААЕ/100 г сухой массы; флавоноиды: 2,58 мг/100 г; флавонолы: 1,80 мг/100 г; фитоэстрогены: 184 мкг/100 г; изофлавоны: 4,2 мкг/100 г; общее количество лигнанов: 178 мкг/100 г; каротиноиды: 0,69 мг/100 г; β-каротин: 394 мкг; лютеин-зеаксантин: 148 мкг	DPPH – 3 112 ORAC-код – 8 578

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Изюм	углеводы: 79,2 г, белки: 3,07 г, клетчатка: 3,7 г	Ca: 50, Fe: 1,88, Mg: 32, Na: 11, K: 749, Cu: 0,32	всего фенолов: 2 414 мг ААЕ/100 г; флавоноиды: 0,85 мг/100 г; флавонолы: 0,26 мг/100 г; фитоэстрогены: 30,2 мкг/100 г; изофлавоны: 8,1 мкг/100 г; общее количество лигнанов: 22,0 мкг/100 г	DPPH – 1 346 ORAC – 10 450
Инжир	углеводы: 63,9 г, белки: 3,3 г, клетчатка: 9,8 г	Ca: 162, Fe: 2,03, Mg: 68, Na: 10, K: 680, Cu: 0,29	всего фенолов: 1 234 мг ААЕ/100 г; флавонолы: 105 мг/100 г	DPPH – 1 087 ORAC-код – 3 382

Примечание – Н/д – нет данных; макроэлементы: Ca – кальций; Fe – железо; Mg – магний; Na – натрий; K – калий; Cu – медь.

Из-за сезонности и ограниченного срока хранения фруктов и овощей происходят их значительные потери. В связи с этим разработаны и широко применяются многие технологии, направленные на обеспечение качества и микробиологической стабильности плодоовощного сырья [1]. Разработанные модификации технологий сушки все чаще используются для повышения пищевой ценности полезных для здоровья растительных закусок при сохранении их органолептических показателей качества [14]. Такие методы, как сублимационная сушка (СБС) и включение натуральных гидроколлоидов, были определены как эффективные подходы для разработки более здоровых вариантов фруктовых закусочных батончиков с улучшенным профилем питания [15]. Нанесение съедобных покрытий на основе гидроколлоидов, включающих пребиотики, такие как олигофруктоза или инулин, и пробиотические культуры, на свежесрезанные яблоки представляет собой перспективную линию в разработках новой немолочной пробиотической пищи, которая может быть предложена потребителю в свежем или сушеном виде [16]. Сочетание методов предварительной обработки, таких как ультразвук (УЗ), импульсное электрическое поле (ИЭП) и высокое давление, с традиционными методами сушки дает возможность оптимизировать производственные процессы и улучшить пищевую ценность и качество сухофруктов [17]. Вакуумная пропитка (ВП) эффективна для внесения питательных веществ и биоактивных соединений в пористую структуру матрицы фруктов, как правило, обогащая фруктовые продукты средней степени влажности [18–20]. Применение осмотической дегидратации (ОД) перед сушкой способствует улучшению вкусовых и питательных свойств фруктов, а также является эффективной энергосберегающей технологией при производстве сушеных закусок [13]. Для сохранения максимального количества биологически активных соединений, которое часто снижается в процессе традиционного технологического процесса, целесообразно применять инновационные методы сушки, такие как СБС, сушка с использованием микроволн (МВС) и гибридная сушка (ГБС) [21–23]. Особое значение в производстве сушеного плодового сырья приобретает использование побочных продуктов пищевой промышленности, включая отходы фруктов. Данная стратегия не только решает проблемы пищевых отходов, но и способствует созданию сухих продуктов с высокой пищевой ценностью, обладающих функциональными свойствами. Использование недорогих побочных продуктов, таких как выжимки, сердцевинки, кожура, корни и семена фруктов и овощей, дает возможность преобразовать эти материалы в ценные биологически активные вещества, которые улучшают пищевой профиль

плодовых закусок [24–26]. В частности, выжимки фруктов и овощей являются ценным биологически активным и экологически чистым сырьем для производства сухих закусок [27]. Целью данного исследования является обзор и анализ современных технологий и способов получения качественных сушеных фруктов и закусок на их основе, обладающих высокой пищевой ценностью и приемлемыми органолептическими показателями.

Поиск зарубежной научной литературы на английском языке по теме исследования проводили в библиографических базах Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar. Материалами для исследования послужили 89 статей. В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2018–2025 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения. Для поисковых запросов были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: fruits, snacks, vacuum impregnation, osmotic dehydration, ultrasound, cold plasma, pulsed electric field, quality, nutritional value, hybrid drying. Поиск и анализ научных публикаций по производству сушеной плодоовощной продукции, использованию современных технологий предварительной обработки и методов процесса сушки провели по ключевым словам в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Способы повышения пищевой ценности. Способы и методы повышения пищевой ценности фруктов и других растительных материалов изучаются уже много лет. Возможность использования современных технологий в применении пропиточных и осмотических растворов с акцентом на натуральные ингредиенты, включая пре- и пробиотики, условия этих процессов и особенно применение методов нетермической обработки открывают новые возможности для производства сушеных снековых продуктов. Инновационные методы направлены на устранение недостатков, связанных со сложностью контроля массообмена, эффективностью и длительностью процесса пропитки / осмотической дегидратации, а также с проблемами управления осмотическими растворами. Поскольку растительная ткань оказывает значительное сопротивление массообмену в процессе обработки, эффективность массообмена может быть повышена с помощью современных методов воздействия, таких как изменение давления, ультразвук (УЗ), импульсное электрическое поле (ИЭП) и холодная плазма (ХП). Преимущества использования этих нетермических методов заключаются в лишь частичном повреждении ткани. Вакуумную пропитку (ВП) иногда путают с осмотической дегидратацией (ОД), но эти методы различаются по механизму действия [28]. Импрегнация, проводимая под пониженным давлением (вакуумом), представляет собой перенос массы в результате механически создаваемой разности давлений, а ОД – это спонтанное физическое явление, возникающее при разнице концентраций внутриклеточной жидкости в ткани и окружающем растворе. Обычно ОД проводят при атмосферном давлении, но в качестве вспомогательной обработки используется более высокое или более низкое давление. В процессе ВП используются изотонические или более концентрированные растворы, тогда как при ОД – гипертонические. В отличие от пропитки, основной целью ОД является частичное удаление воды из материала, при этом возможны потери компонентов естественного клеточного сока, тогда как ВП можно рассматривать как типичный процесс обогащения, при этом ВП не влияет на изменение структуры материала, а потери нативных компонентов за счет вымывания из ткани ограничены.

Вакуумная пропитка. Вакуумная пропитка (ВП) – технологический процесс, суть которого заключается в вытеснении воздуха из пористой структуры фруктов под разрежением и последующем включении в свободные поры пропитывающего раствора при восстановлении атмосферного давления. Этот метод используется для повышения пищевой ценности, а также улучшения органолептических свойств сушёных и обработанных фруктов – введения в них витаминов, минералов, консервантов, осмопротектантов и структурообразующих компонентов. В данной технологии свободные пространства в пористом материале замещаются раствором, содержащим физиологически активные соединения [29]. Под действием вакуума снижается

давление внутри капилляров и межклеточных пространств, в которых находится газ и частично вода, при этом происходит дегазация, а при восстановлении давления раствор проникает внутрь по капиллярным путям (инфильтрация). Вакуумный импульс обеспечивает капиллярный поток и ускоряет обмен воды и растворенных веществ, что отличает ВП от простой осмотической дегидратации или статического замачивания. На процесс ВП могут оказывать влияние различные факторы, которые можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние связаны с конформацией продукта, в частности его пористостью, механическими свойствами, а также размером и формой как капилляров, так и образцов [30]. Внешние аспекты включают уровень вакуумного давления, время обработки, в частности время восстановления, температуру, состав раствора, концентрацию и перемешивание [30; 31]. Увеличение вакуумного давления, перемешивания и времени обработки увеличивает выход пропитки [32; 33]. Что касается концентрации раствора, изначально процесс ВП предполагался для увеличения массопереноса во время ОД с использованием гипертонического раствора в качестве пропиточного в процессе, называемом вакуумной осмотической дегидратацией (ВОД) или вакуумной импульсной осмотической дегидратацией (ВИОД) [34–36]. Это применение до сих пор широко используется, особенно с введением концентрированных соков, богатых биоактивными соединениями [36]. Кроме того, изотонические обогащенные растворы могут быть использованы в процессе ВП для включения полезных для здоровья биоактивных компонентов плодоовощного сырья. Результаты некоторых исследований демонстрируют высокий потенциал обогащения пищевых продуктов питательными веществами, пробиотиками, пребиотиками и функциональными соединениями, как показано в таблице 2.

Таблица 2

Влияние вакуумной пропитки на пищевую ценность продукта [13]
Effect of vacuum impregnation on the nutritional value of the product [13]

Наименование продукта	Параметры обработки	Пропиточный раствор	Влияние на пищевую ценность	Другие результаты воздействия
1	2	3	4	5
Яблоко [37]	<i>P</i> : 150–650 мбар; вакуум <i>t</i> : 1–7 мин; релаксация <i>t</i> : 3–13 мин	Микро-водорослевая суспензия <i>Chlorella sorokiniana</i>	Содержание белков увеличивается в 1,4–2,2 раза, а содержание минеральных веществ (в основном железа, калия, магния и фосфора) увеличивается в 1,32–3,86 раза по сравнению со свежими яблоками	Не оказывает влияния на текстуру, в то время как яркость цвета незначительно снизилась
Яблоко [19]	<i>P</i> : 50–450 мбар; вакуум <i>t</i> : 1–5 мин; релаксация <i>t</i> : 5–15 мин	Гель алоэ вера (<i>Aloe vera</i>)	Оптимизированные условия (<i>P</i> 50 мбар и релаксация <i>t</i> 10 мин): включение 8 мг / 100 г сырой массы полиманна в ткани яблока	—
Яблоко [38]	<i>P</i> : 100 или 300 мбар; вакуум <i>t</i> : 10 мин; релаксация <i>t</i> : 10 мин с последующим (или не с последующим) импульсом вакуума при 50 и 250 мбар соответственно	1%-й (вес/объем) раствор лактата кальция	Увеличение содержания кальция в яблоках ВП и яблоках, обработанных импульсным вакуумом при 350 мбар, в 10 раз, тогда как импульсный вакуум при 50 мбар после ВП вызвал потерю кальция на 35 %	Конвекционная сушка при температуре 60 °C привела к образованию яблок с резиновой и твердой текстурой из-за усадки независимо от количества кальция

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Яблоко [39]	<i>P</i> : 50 мбар; вакуум <i>t</i> : 10 мин; релаксация <i>t</i> : 10 мин	Мандариновые соки с инкапсулиро- ванными <i>Lactobacillus</i> <i>salivarius</i> spp. <i>Salivarius</i>	Уровень микроорганизмов с неинкапсулирован- ными и инкапсулированными <i>Lsalivarius</i> spp. <i>Salivarius</i> снизился на 10–14 % по сравнению с соком	После сушки при 40 °С уровень неинкапсулированных <i>L. salivarius</i> spp. <i>Salivarius</i> снизился еще на 7 %, что означает, что инкапсуляция защитила микроорганизм от деградации
Дыня [40]	<i>P</i> : 50 мбар; вакуум <i>t</i> : 2 мин; релаксация <i>t</i> : 2 мин	Суспензия, содержащая <i>Lactobacillus aci-</i> <i>dophilus</i> LA-3	После ВП или замачивания содержание <i>Lacidophilus</i> было выше 10 ⁷ КОЕ/г; ВП привела к меньшему снижению количества МРМ <i>Lacidophilus</i> LA-3 в процессе хранения, чем замачивание	Образцы ВП оказались менее приемлемыми для потребителей, вероятно, из-за наи- больших изменений физико-химических характеристик цвета и твердости дыни по сравнению с методом замачивания
Яблоко [18]	<i>P</i> : 200 мбар; вакуум <i>t</i> : 10 мин; релаксация <i>t</i> : 10 мин	Черничный сок с 50 и 100 г трегалозы / кг сока	Включение около 240 мг / 100 г сухого вещества общего количества антоцианов	Образцы ВП с добавлением трегалозы в количестве 100 г / кг сохранили почти в четыре раза больше антоциана после сушки при 50 °С по сравнению с контролем
Яблоко [41]	<i>P</i> : 133–667 мбар; <i>t</i> : 10–30 мин; <i>C</i> : 40–60 °Brix	Концентрат виноградного сока	Увеличение общего количества антоцианов и общей мономерной антоциановой и антиоксидантной активности при максимальном абсолютном давлении (667 мбар)	Пропитанные яблочные кубики имели темно- фиолетовый цвет, похожий на цвет сока
Морковь [42]	<i>P</i> : 50 мбар; вакуум <i>t</i> : 10 мин; релаксация <i>t</i> : 10 мин	Комбинация бланширования и ВП: растворы, содержащие 10 % мас. / об. трегалозы или 0,25 % ЭЗЧ отдельно или в комбинации	Увеличение общего содержание полифенолов (ОСПФ) в четыре раза после бланширования и обработки ВИ в растворе ЭЗЧ; добавление трегалозы к раствору ЭЗЧ отрицательно повлияло на общее содержание каротиноидов ОСК образцов ВП	Замораживание и хранение снижают в моркови АОА; однако в образцах ВП в ЭЗЧ АОА была в 2,9 раза выше, чем в свежем продукте

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Клюква [33]	<i>P</i> : 50–300 мбар; релаксация <i>t</i> : 5–30 мин	Изотонический 2%-й раствор (аскорбиновая кислота, лимон- ная и сахараза)	Содержание аскорбиновой кислоты (АК) увеличивается в 2,4–2,8 раза по сравнению с целыми ягодами клюквы, а при дополнительном бланшировании или разрезании пополам – в 18 или 22 раза соответственно	Потеря антоцианов и полифенолов по сравнению с сырьем составляет около 40 % и 20 % соответственно
Яблоко [43]	<i>P</i> : 10–65 мбар; вакуум <i>t</i> : 1–10 мин; релаксация <i>t</i> : 0–30 мин	Концентрат черной моркови (КЧМ) 0–1,2 %, лактата кальция 1,5–4,5 % и молочной кислоты 2–4 %	Концентрация КЧМ от 0,8 % до 1,2 % приводит к увеличению содержания кальция в СФ от 15,5 % до 28,9 %, в СФЛ – от 8,5 % до 33,4 %, в АОА – от 5,0 % до 14,2 % по сравнению со свежим яблоком; 200 г яблока, обработанного ВП, содержат 107,7 мг кальция	Оптимальное давление вакуума (21,1 мбар), время вакуумирования (3 мин) и время восстановления (20 мин) в зависимости от максимальной скорости переноса красителя
Фруктовая смесь [44]	<i>P</i> : 50 мбар; вакуум <i>t</i> : 3–10 мин; релаксация <i>t</i> : 3–10 мин	Различные концентрации β-каротина (0– 75 %) и лютеина (0–50 %)	Увеличение содержания каротиноидов в 15 раз по отношению к свежим продуктам	Снижение твердости сразу после ВП и во время хранения в холодильнике по сравнению со свежими образцами

Примечания: 1) *P*: давление; *t*: время; *C*: концентрация; релаксация – отсутствия воздействия вакуума или давления.
2) Сокращения: АК – аскорбиновая кислота; АОА – антиоксидантная активность; КЧМ – концентрат черной моркови; ЭЗЧ – экстракт зеленого чая; СФ – содержание фенолов; СФЛ – содержание флавоноидов.

Некоторые исследования показали возможность обогащения пористой фруктовой и овощной матрицы пробиотиками и пребиотиками. Например, Р. М. de Oliveira et al. получили дыню, обогащенную пробиотиками, благодаря включению в ее структуру более 107 КОЕ/г *Lactobacillus acidophilus* LA-3 [40], тогда как Е. Betoret et al. оценили влияние инкапсуляции на выход включения пробиотика (*Lactobacillus salivarius* spp. *Salivarius*) в ткань яблока, показав сопоставимое количество включенного пробиотика как с инкапсуляцией, так и без нее (7,23–7,34 Log КОЕ/г) [39]. После процесса сушки высушенные яблочные диски с инкапсулированными бактериями представляли большее количество жизнеспособных клеток, чем с неинкапсулированными. В обоих случаях количество было достаточно высоким, чтобы иметь потенциально полезный пробиотический эффект. Касаемо пропитки антиоксидантными соединениями, J. M. Castagnini et al. продемонстрировали включение всех антоцианов из сока черники в яблочную матрицу (включение всех антоцианов составило 240,5 мг / 100 г сухого вещества). Добавление трегалозы в сок черники не повлияло на обогащение антоцианами, однако сыграло решающую роль в их сохранении во время последующей сушки [18]. Экстракт зеленого чая, богатый биоактивными соединениями, использовался для пропитки яблок и моркови, способствуя увеличению общего содержания полифенолов (СП) в 5 и 4 раза соответственно [42]. При пропитке клюквы раствором аскорбиновой кислоты наблюдалось увеличение содержания аскорбиновой кислоты от 2,4 до 22,0 раз в зависимости от примененной предварительной обработки, тогда как содержание антоцианов и полифенолов демонстрировало снижение [32; 33]. Пропитка яблок концентратами черной моркови привела к увеличению АОА, содержанию полифенолов и флавоноидов на

28,9 %, 33,4 % и 14,2 % соответственно [13]. Содержание кальция в яблочных дисках увеличилось в 4–5 раз в зависимости от концентрации раствора. Наконец, минимально обработанный фруктовый салат был пропитан β -каротином и лютеином, что показало увеличение каротиноидов в 15 раз по сравнению со свежими продуктами. β -каротин и лютеин – это натуральные пигменты, используемые для улучшения цвета пищевых продуктов и повышения их пользы для здоровья благодаря их антиоксидантной и противораковой активности [44]. Проведены исследования комбинированного применения ВП и других нетермических методов, таких как ультразвук (УЗ) и импульсное электрическое поле (ИЭП). Использование ВП с УЗ и с фенолами, кальцием и концентратом черной моркови привело к увеличению содержания кальция, общих фенолов, общих флавоноидов, общих антоцианов и антиоксидантной активности в яблоках на 14 %, 12 %, 17 %, 25 % и 24 % соответственно [13]. D. J. Mierzwa et al. наблюдали увеличение содержания аскорбиновой кислоты и большую антиоксидантную активность в клюкве после УЗ-ВП, предполагая также, что УЗ следует применять во время фазы покоя ВП для достижения наибольшего эффекта [32]. Аналогичные результаты установлены при обработке УЗ и ВП моркови, где наблюдалось увеличение содержания аскорбиновой кислоты на 60 % [20]. Результаты исследований показали, что ВП в комбинировании с воздействием ИЭП эффективны для повышения устойчивости к замораживанию различных продуктов питания, а также для обогащения картофеля железом [45–47; 48]. Вместе с тем M. F. Trusinska et al. наблюдали большее снижение количества биоактивных соединений и антиоксидантной активности в образцах яблок, пропитанных соком алоэ вера, когда обработка ИЭП (125,0; 212,5 и 300,0 В/см) проводилась до обработки ВП по сравнению с образцами только с ВП [49].

ВП как дальнейшее усовершенствование метода погружения может быть перспективной технологией в использовании съедобных покрытий, поскольку в зависимости от поверхностной растяжимости образца, а также вязкости раствора уровень удерживания компонента в продукте для образования сплошной пленки относительно низок [50]. Кроме того, процесс ВП способствует большему включению биоактивных компонентов в образец, влияя на более равномерное обогащение продукта. Метод ВП в сочетании со съедобными покрытиями можно успешно использовать для улучшения текстуры и структурных свойств фруктов. Так, например, T. Senturk Parreidt et al. получили более высокие результаты по твердости и увеличению веса, а также положительное влияние на цвет для дыни *Cantaloupe Melon* при использовании методов ВП с покрытием из альгината натрия [51]. A. S. de Soares et al. отметили эффективность в снижении нежелательных изменений в количестве микроорганизмов (психротрофных микроорганизмов и колиформ в течение периода хранения), каротиноидов и в содержании воды в тыкве по сравнению с замачиванием при применении ВП в сочетании с хитозановыми покрытиями [50]. Кроме того, этот метод способствовал улучшению цвета, твердости, кислотности и pH тыквы в процессе хранения [13; 50]. В целом действие ВП во время нанесения покрытия способствует лучшей адгезии пленкообразующих смесей к поверхности фруктов. В результате создается более толстое покрытие, которое равномерно распределяется по образцу. Следовательно, наблюдается значительное увеличение сопротивления образцов пропусканию водяного пара. Это объясняется сохранением их текстуры при хранении. Данные процессы ценны с точки зрения устойчивости, поскольку они приводят к лучшей стабильности и снижению потери воды образцом, что имеет решающее значение при распределении и переработке, поскольку ведёт к снижению отходов фруктов [13]. Кроме того, F. R. Assis et al. установили, что ВП с последующим вакуумным импульсом обеспечивала более высокую скорость сушки, чем только пропитанные и бланшированные яблоки, а конечное время сушки сокращалось на 24 %, что повышало устойчивость процесса [38].

Осмотическая дегидратация. Осмотическая дегидратация (ОД), известная в течение многих лет, в сочетании с инновационными методами обработки, находит новые применения в пищевой промышленности, особенно для производства натуральных закусок из сухофруктов,

обладающих высокой пищевой ценностью [2; 13; 52]. Процесс включает удаление воды из растительной ткани путем погружения ее в раствор с более высокой концентрацией растворенных веществ, чем концентрация клеточного сока обезвоженного материала. Одним из важнейших преимуществ ОД является эффективное частичное удаление воды без фазового перехода, что приводит к снижению энергопотребления, обусловленному как скрытой теплотой, связанной с фазовым переходом, так и возможностью сокращения общего времени производства сушеных продуктов [53; 54]. Помимо удаляемой воды, с которой могут быть потеряны природные компоненты клеточного сока, осмотический раствор содержит введенный поток веществ, которые могут проникать в обезвоженный материал. Обычно используемые осмотические вещества, такие как моно- и дисахариды, могут быть нежелательны в конечном продукте, поскольку имеют высокий гликемический индекс. Однако использование правильно составленного осмотического раствора является еще одним преимуществом ОД, поскольку позволяет обогатить обезвоженный материал компонентами осмотического раствора или ограничить потерю нативных компонентов. Эти вопросы важны с точки зрения контролируемого массопереноса. Они связаны с использованием соответствующих условий процесса, свойствами сырья и геометрией образца, типом и концентрацией осмотического раствора, соотношением массы сырья к массе раствора, температурой и временем процесса, включая возможность использования поддерживающих обработок [13; 55]. Эти аспекты оказывают значительное влияние как на сенсорное качество сушеных продуктов, так и на их пользу для здоровья. Эти вопросы также важны для потребителей, которые всё более осведомлены о влиянии потребляемой пищи на их здоровье, а также всё более сознают необходимость заботиться об окружающей среде в глобальном масштабе и могут внести свой вклад в природосбережение, отдавая предпочтение потреблению продуктов питания, произведенных в соответствии с принципами устойчивого развития. Наиболее важными аспектами улучшения процесса обезвоживания являются: повышение эффективности процесса; возможность контролировать массоперенос; снижение энергопотребления (например, за счет сокращения времени процесса) [56].

ОД – это метод обработки пищевых продуктов, основанный на явлении осмоса. Данная концепция основана на системе из двух водных растворов, клеточного сока и осмотического раствора с различными концентрациями растворенных веществ [41]. Эти растворы отделены друг от друга полупроницаемой мембраной, которой является растительная ткань, или, точнее, мембраны и клеточные стенки, через которые протекает вода и меньшее количество низкомолекулярных растворенных веществ, тогда как высокомолекулярные вещества удерживаются до тех пор, пока клетка сохраняет свои жизненные функции и может ограничивать их проницаемость [1]. Структура растительного материала очень разнообразна из-за пористости и функций отдельных клеток. Матрикс, например, клетки, выполняющие различные задачи в растительной ткани и межклеточном пространстве, создает континуум (апопласт), способный транспортировать воду и небольшие молекулы. Протопласты соседних клеток соединены плазмодесмами, образуя структуру, называемую симпластом, которая обеспечивает перемещение как органических, так и неорганических веществ [1; 41]. Трансмембранный транспорт происходит между внутренней частью клетки (цитоплазмой и вакуолью) и внешней частью клетки (клеточной стенкой и межклеточным пространством) через клеточную мембрану [1; 41]. Массообмен между материалом и осмотическим раствором может быть одновременно связан с дегидратацией, выщелачиванием и пропиткой [57]. Поскольку большинство фруктов являются высокопористыми, капиллярный и гидродинамический поток, происходящий в порах, например, в меж- и внутриклеточном пространстве, можно считать доминирующим. В случае одновременного ОД и обогащения механизмы сопротивления клеточных стенок и мембран должны быть проанализированы более тщательно, чтобы увеличить их контролируемую проницаемость. Это сопротивление ткани приводит к длительному времени процесса. На массообмен обезвоженной растительной ткани влияют многие факторы [57; 58]. В основном это зависит от типа сырья и

структуры растительной ткани, подвергнутой ОД. Газонаполненные капилляры, клеточные стенки и мембраны, межклеточные пространства и размер частиц, которые могут транспортироваться к образцу во время ОД, играют важную роль в транспорте воды и компонентов осмотического раствора [59]. В случае ягод дополнительное сопротивление тканей обеспечивается кожицей, окружающей плод. Исследование P. Nowicka et al. показало, что наилучшим вариантом для ОД вишни в яблочном концентрате является предварительное замораживание плода [60]. Перед замораживанием плод, освобожденный от косточек, характеризовался высоким содержанием полифенолов, антиоксидантной активностью и самым высоким соотношением потери воды к приросту сухих веществ по сравнению с контрольными образцами. Многие более или менее признанные факторы могут снизить сопротивление растительной ткани (полупроницаемость) и увеличить массообмен. Массообмен контролируемым образом достигается за счет увеличения одного из трех ранее упомянутых потоков, происходящих во время ОД, например, потока воды и потока нативных растворенных веществ из ткани в ткань, потока осмотических или обогащающих веществ [61]. Наиболее важными являются температура и тип осмотического вещества, а также другие поддерживающие обработки, особенно нетермические. Повышение температуры улучшает проницаемость клеточных мембран и ускоряет массообмен, сокращая время ОД [62]. Однако при высоких температурах некоторые термолабильные компоненты могут быть потеряны. Значения температуры в диапазоне 30–50 °С и отсутствие кислорода во время процесса позволяют сохранить питательные, полезные для здоровья ингредиенты и сенсорное качество осмодегидратированных продуктов [63].

Хотя сахара, такие как сахароза, глюкоза и фруктоза, по-прежнему являются довольно популярными осмотическими веществами, используемыми в процессе дегидратации фруктовой ткани, в последние годы многие исследования были сосредоточены на их замене другими веществами. X. Wang, H. Feng значительно снизили усвоение сахарозы в ломтиках яблок, добавив изолят горохового белка (ИГБ) и инулин в качестве биомакромолекул в раствор сахарозы. Добавление 3 % ИГБ снизило усвоение сахара до 30 %. Проникновение обоих веществ в яблочную ткань также было полезным, поскольку оба оказывают положительное влияние на здоровье человека [64]. Среди альтернативных веществ использовались эритрит и трегалоза [64; 65], эритрит, сорбит и ксилит [66]; применялось добавление только солей минеральных соединений, витаминов или других обогащающих веществ, таких как пре- и пробиотики [67–69], добавление концентрированных соков или ингредиентов, извлеченных из фруктовых выжимок [51; 70; 71]. Также было предложено для пропитки фруктов до сушки использовать изомальтулозу, которая является гораздо более полезным диетическим ингредиентом, чем другие сахара. Однако по сравнению с образцами без осмотической предварительной обработки пропитка изомальтулозой привела к значительно более высокой активности воды, твёрдости и изменению цвета, но к меньшей усадке и содержанию биологически активных соединений, а также к снижению скорости сушки фруктов, что увеличило время процесса [72]. В настоящее время все чаще используются соки или их концентраты, которые благодаря высокому содержанию сухих веществ, в том числе сахара, служат эффективными осмотическими агентами и источником многих природных веществ с полезными для здоровья свойствами [1; 58; 59]. Использование традиционных однокомпонентных осмотических веществ достаточно хорошо изучено. Гораздо сложнее предсказать эффект обогащения растительной ткани такими добавками, как фруктовые или овощные соки, или их концентраты, или мёд, которые состоят из большого количества ингредиентов с различной молекулярной массой. В последние годы появились исследования по использованию ОД в различных фруктовых продуктах для повышения содержания питательных веществ и биологически активных соединений (табл. 3.). Умеренная температура процесса ОД в диапазоне 25–50 °С оказалась подходящей в основном для эффективного обогащения фруктов. Использование различных осмотических или обогащающих растворов и методов, поддерживающих осмотическую обработку путем интенсификации массообмена, таких

как импульсный вакуум или методы высокого давления, УЗ и ИЭП, создает возможность повышения уровня биоактивных соединений в конечном продукте, а также качественных органолептических свойств и пищевой ценности [58; 59; 69; 71]. К. Sethi, V. Kaur использовали мёд, сахарозу и растворы мёда и сахарозы (1 : 1) для сушки ананаса ОД, и максимальное содержание аскорбиновой кислоты было обнаружено в образцах, дегидратированных в растворе сахарозы и мёде. Эти образцы оказались лучшими по питательной ценности, максимальному сроку хранения и другим параметрам, включая органолептические показатели [73]. Вместе с тем Z.-L. Liu et al. установили, что использование осмотической предварительной обработки импульсным вакуумом (40 °С) перед сушкой клюквы привело к значительным потерям биологически активных соединений из-за выщелачивания в осмотический раствор [74].

Таблица 3

Влияние осмотической дегидратации на пищевую ценность сушеных фруктов
Effect of osmotic dehydration on the nutritional value of dried fruits

Наименование продукта	Параметры обработки	Характеристика осмотического раствора	Эффективность процесса
1	2	3	4
Яблоко [67]	<i>P</i> 1 / ОД / 25 °С: 68 кПа, <i>t</i> : 10 мин или УЗ: 1724–2219 Вт, релаксация <i>t</i> : 50 мин; <i>P</i> 2 / ОД / 25 °С: 68 кПа, <i>t</i> : 10 мин, интервалы/релаксация <i>t</i> : 10 мин или УЗ: 1724–2219 Вт, <i>C</i> : 40–60 °Brix	Сахароза 40, 50 и 60 %, лактат кальция 1,5 %	Как обработка ИВОД, так и УЗ в процессе ОД увеличивали диффузию кальция, причём интервальная УЗ-обработка оказалась наиболее эффективной. Конечное содержание кальция в образце УЗ-ОД достигло 3 644,19 мкг/г сухого вещества, что примерно в 18 раз выше, чем в свежих яблоках (200,43 мкг/г сухого вещества)
Яблоко [66]	<i>C</i> : 30 %, <i>t</i> : 200 мин, повторное погружение в осмотический раствор каждые 40 мин	Эритрит, сорбит и ксилит	Ксилит и сорбит вызвали большую потерю воды – примерно 36 % и 40 % соответственно. С учётом массопереноса и качества яблочных ломтиков лучшей альтернативой сахарозе оказался раствор ксилита
Клубника [72]	<i>T</i> : 30 и 50 °С, <i>t</i> : 210 мин	Изомальтулоза (палатиноза) 35 %	ОД клубники в изомальтулозе снизила активность воды в меньшей степени, чем контроль, вызвала более выраженные изменения твердости и цвета, а также более низкие уровни биологически активных соединений, а также уменьшила скорость высыхания плодов, увеличив время сушки
Тыква [59]	<i>T</i> : 45 °С, <i>t</i> : 120 мин	Фильтрованный (от 8 до 0,2 мкм) сок из аронии 40 °Brix	Обогащение тыквы осмотическим раствором было интенсивным, общее содержание фенолов и антиоксидантная активность (измеренная с помощью ABTS и FRAP) увеличились со 151,66 мг ГА/100 г дм, 0,31 ммоль Тролокса/100 г дм и 0,51 ммоль Тролокса/100 г дм соответственно в 3–7 раз, 12–34 раза и 7–18 раз

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
Ананас [73]	$T: 30 \text{ и } 50 \text{ }^{\circ}\text{C}, t: 210 \text{ мин}$	Мед, сахара и растворы меда и сахара 1 : 1, 60, 80, 72 °Brix	Образцы, дегидратированные в растворе меда и сахара, характеризовались наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты и сенсорной приемлемостью, а также стабильностью после высушивания
Яблоко [71]	$T: 45 \text{ }^{\circ}\text{C}, t: 90 \text{ мин}$	Сок аронии, соль, сахара и концентрированные растворы 40 °Brix	Существенное увеличение значения ABTS – до 539,7 ммоль Тролокса/100 г дм после использования концентрированного сока аронии по сравнению с раствором соли и сахара – 1,47–2,51 ммоль Тролокса/100 гдм
Клубника [70]	$T: 30 \text{ и } 50 \text{ }^{\circ}\text{C}, t: 360 \text{ мин}$	Сахара – инулин 1 : 1, сахара – концентрат сока аронии (КСА) 1 : 1, инулин – КСА 4 : 1, 50 °Brix	Частичная замена сахара на КСА 65 °Brix или инулин обогатила клубнику биоактивными соединениями с меньшим проникновением простых сахаров. Более низкий массоперенос при использовании инулина был обусловлен его значительно более высокой молекулярной массой, чем у сахара
Тыква [52]	$T: 45 \text{ }^{\circ}\text{C}, t: 360 \text{ мин}$	Концентрированные соки из аронии, айвы и малины 40 °Brix	Наибольший прирост сухих веществ и содержание полифенольных соединений – от 1 476 до 2 585 мг ГК/100 г сухого вещества, а также более выраженный антиоксидантный эффект наблюдались в сушеной тыкве, осмотически дегидратированной в концентрированном соке айвы
Вишня [60]	$T: 40 \text{ }^{\circ}\text{C}, t: 180 \text{ мин}$	Концентрированный яблочный сок (КСА) 40 °Brix	Концентрат КСА обогатил образцы вишни общим содержанием полифенолов примерно на 16 % и антиоксидантной активностью примерно на 35 % по сравнению со свежим продуктом
Черноплодная рябина [60]	$T: 45 \text{ }^{\circ}\text{C}, t: 120 \text{ мин}$	Концентрированный сок аронии (КСА) 40 °Brix	Фрукты, предварительно дегидратированные и высушенные осмотическим методом, показали меньшую горечь по сравнению с необработанными образцами. Применение метода осмотической дегидратации фруктов в сочетании с микроволновой вакуумной сушкой привело к значительному повышению хрусткости

Примечания: 1) ABTS и FRAP – антиоксидантная активность, измеренная с различными радикалами; С – концентрация осмотического раствора; Т – температура, Р – давление; Р_{атм} – атмосферное давление; t – время.
2) Сокращения: АА – аскорбиновая кислота; ЛК – лимонная кислота; ЛК – лактат кальция; СП – съедобное покрытие; ГК – галловая кислота; ВГД – высокое гидростатическое давление; ИВОД – импульсная вакуумно-осмотическая дегидратация.

В исследовании Н. Kowalska et al. для обогащения клубники использовалась частичная замена (1 : 1) сахара концентратами сока аронии (КСА) или инулином, а также инулином-

КСА (4 : 1) [70]. КСА характеризовался высоким содержанием общих полифенолов в диапазоне 9 871 мг ГК/100 г дм, поэтому он является источником биологически активных соединений. Среди дегидрированной клубники самое высокое содержание общих полифенолов составило 3 941 мг ГК/100 г дм. Эти образцы были дегидрированы смесью раствора аронии и инулина. Это может быть результатом использования растворов с разной молекулярной массой. Авторы предположили, что крупные частицы инулина могут облегчать проникновение более мелких частиц аронии за счет увеличения пористости контактного слоя с осмотическим раствором. В исследовании К. Masztalerz et al. для обогащения тыквы использовали отфильтрованный осмотический раствор концентрированного сока аронии [59]. Результаты показали эффективное обогащение тыквы компонентами раствора (см. табл. 3), а меньшие размеры ячеек фильтра привели к равномерному проникновению компонентов раствора и более высокому качеству обезвоженных образцов [70]. Р. Nowicka et al. обнаружили, что при ОД вишен, замороженных с косточками в яблочном концентрате по сравнению с вишнями без косточек или размороженными до ОД, отмечалось высокое содержание полифенолов, антиоксидантная активность при самом высоком соотношении влаги и сухих веществ (W/CB) [60]. Для достижения этого наиболее эффективным была продолжительность процесса ОД 120 мин. Это гарантировало, что вишни были обезвожены более чем на 50 %, а их биологически активные вещества – максимально сохранены.

Современные методы дегидратации. Среди множества современных методов, используемых для обезвоживания растительных продуктов, следует выделить низкотемпературные методы, направленные на снижение сопротивления массопереносу за счёт частичного повреждения растительной ткани и нарушения полупроницаемости клеточных мембран. При разработке новых технологий обезвоженных/обогащённых продуктов необходимо учитывать возможность снижения затрат, времени обработки, количества отходов, а также негативного воздействия на окружающую среду и потребления ресурсов [8; 75]. К современным методам обработки, способствующим обезвоживанию фруктов, относятся, среди прочего: импульсная вакуумная осмотическая дегидратация (ИВОД), ультразвуковая технология (УЗ), импульсное электрическое поле (ИЭП), использование условий низкого или высокого давления (ГД), предварительное замораживание [74; 76–82], а также использование съедобных покрытий [55; 83]. Основная цель использования новых технологий осмотической обработки – повышение эффективности процесса за счёт сокращения времени его проведения, что позволяет экономить энергию и улучшать качество продукции. Необходимость дополнительной обработки при осмотической обработке обусловлена тем, что сопротивление растительных тканей, особенно при умеренных температурах, влияет на длительность процесса [84].

Как уже отмечали ранее, одним из эффективных методов является импульсная вакуумная осмотическая дегидратация (ИВОД), проводимая периодически при пониженном и атмосферном давлении и умеренной температуре. Как правило, процесс ОД поддерживается сначала вакуумным давлением в течение 10–30 мин, после чего следует длительное выдерживание продукта в осмотическом растворе при атмосферном давлении (180–360 мин) [35; 85]. Увеличение массопереноса обусловлено потерей воздуха, что увеличивает поверхность контакта между осмотическим раствором и тканью. В исследовании К. Sittisuanjik et al. модельный агаровый гель (МАГ) подвергали воздействию ИВОД в растворе сахарозы (30–60 %), включая раствор, обогащенный аскорбиновой кислотой (АК 6,0 %), галловой кислотой (ГК 3,0 %) и лактатом кальция (1,2 %); при оптимальных условиях (концентрация сахарозы 32,58 %, время 14,34 мин) в МАГ было получено удовлетворительное содержание АК, ГКА и кальция при небольшом увеличении содержания сахарозы [35]. В работе К. An et al. методы ИВОД и ультразвуковой осмотической дегидратации (УЗОД) увеличили время последующей стадии сушки имбиря, однако при этом данные процессы способствовали увеличению общего содержания фенолов на 1,8 % до 16,4 %, общего содержания флавоноидов – на 7,7 % до 18,7 %,

удалению радикалов DPPH – на 9,5–12,2 % и повышению антиоксидантной активности ABTS+ – на 17,8–27,4 % [85]. Обработка ИВОД способствовала лучшему сохранению профилей летучих веществ и структуры клеток, чем обработка УЗОД. Исследование Y. Nuñez-Mancilla et al. подтвердило эффективность процесса ОД клубники в 40%-м растворе сахарозы в условиях высокого давления (100–500 МПа) [81]. При данных параметрах процесса самая высокая антиоксидантная активность была установлена при 400 МПа, а общее содержание фенолов увеличивалось с увеличением давления до 400 МПа. Высокая сохранность (98 %) содержания витамина С была продемонстрирована независимо от величины давления.

ИЭП путем приложения внешнего электрического поля, которое индуцирует критический электрический потенциал на клеточной мембране, приводит к быстрому электрическому распаду и локальным структурным изменениям в клеточных мембранах. Эта электропроницаемость клеточных мембран усиливает массоперенос. G. Oliveira et al. исследовали влияние ИЭП на ОД клубники [79]. Наибольшее содержание антоцианов, в основном цианидин-3-О-глюкозида, было обнаружено в образцах, обработанных только ИЭП при 200 В/см (108,8 мг/кг сухого вещества). При использовании ИЭП перед ОД в растворе трегалозы содержание антоцианов находилось в диапазоне 75,8–79,9 и ниже, а в образцах, погруженных в сахарозу, – 64,5–74,2 мг/кг сухого вещества. В одном из недавних исследований M. Katsouli et al. было установлено, что обработка картофельной ткани методом ИЭП (0,5 кВ/см, 200 импульсов) или высоким давлением (ВД) (400 МПа, 1 мин) перед ОД (35 °С, 120 мин с добавлением аскорбиновой кислоты и папаина) способствовала сохранению качества (текстуры и цвета) образцов, предотвращала потемнение и обеспечивала микробиологическую стабильность, особенно в сочетании с ИЭП или ВД [68]. При использовании метода ГВД для ОД фруктов (ОД-ГВД) требуется упаковывать образцы в полиэтиленовые пакеты, добавляя 3–20 г осмотического раствора на 1 г продукта и используя вакуумную герметизацию. В результате клеточная мембрана растительной ткани становится проницаемой, что облегчает диффузию и обеспечивает большую степень дегидратации [86; 87].

M. Araya-Farias et al. в качестве предварительной обработки использовали погружение плодов облепихи в N₂ (три цикла по 2 мин и при температуре окружающей среды – 2 мин), бланширование паром (2 мин) и циклы замораживания (–10 °С / –2 °С и –30 °С / 10 °С / –2 °С; 3 ч при каждой температуре) [82]. Лучшей обработкой для максимизации скорости ОД и увеличения прироста сахара было погружение в N₂. Потребление сахара и частичная потеря воды образцами облепихи увеличивались со временем осмоса и достигали равновесного значения через 4 ч обработки. Однако после ОД общее содержание каротиноидов, фенолов и витамина С снизилось примерно на 22 %, 12 % и 78 % соответственно [75; 82].

Среди исследований нетермических методов, используемых в качестве вспомогательной обработки, появились работы, рассматривающие использование холодной плазмы (ХП). Однако сравнительных исследований применения ХП для обработки фруктов и оценки ее влияния на пищевую ценность нами не установлено. Поскольку обработка ХП влияла на модификацию структуры, создавая микроканалы и полости посредством соударений со стороны реакционноспособных видов, аналогично другим нетермическим обработкам, можно предполагать, что она также может быть эффективна для производства сухофруктов. O. I. Obadzhemih et al. показали, что ХП способствовала сокращению общего времени сушки до 40 % и значительному улучшению физико-химических свойств, включая цвет, общее количество растворимых сухих веществ, содержание витамина С, ликопина, фенолов и флавоноидов и общую приемлемость [88].

Когда необходимо ограничить поток низкомолекулярных веществ, растворенных в воде, целесообразно исследовать применение съедобного покрытия. Съедобные покрытия в сочетании с ОД/обогащением широко не используются [54]. Эти тонкие слои полученных при обработке биологических веществ (полисахаридов, белков, липидов или их композитов) могут содержать биоактивные соединения (витамины, антимикробные препараты) для управления массообменом

и формирования других полезных свойств фруктовых закусок. Также полезно использовать другие нетермические поддерживающие обработки одновременно с покрытиями. Сочетание съедобного покрытия с ОД направлено на удаление воды через полупроницаемую мембрану. Напротив, перенос растворенных веществ из дегидратированной ткани и в обратном направлении из осмотического раствора в пищу ограничен. Наглядным примером являются пектиновые покрытия, включенные в лимонную кислоту (2 %) или аскорбиновую кислоту (2 %), которые способствовали сохранению β -каротина в сушеных абрикосах, предварительно обработанных УЗ [77]. В абрикосах использование УЗ во время ОД приводило к образованию трещин и микроканалов в клеточной структуре, что увеличивало массоперенос во время ОД и сушки, сокращая время воздействия горячего воздуха [77]. В исследовании X. Wang et al. в течение 60 мин ОД яблок в растворе сахарозы в диапазоне концентраций 40–60 °Brix с добавлением 1,5 % лактата кальция использовали начальное или интервальное 10-минутное воздействие пониженного давления или УЗ [67]. Интервальная обработка УЗ в процессе ОД была наиболее эффективной с точки зрения удаления влаги и обогащения кальцием, а также сохранения общего содержания полифенолов. Конечное содержание кальция в этом образце было более чем в 18 раз выше (3 644,19 мкг/г дм), чем в свежих яблоках (200,43 мкг/г дм). Коэффициенты диффузии кальция, а также коэффициенты удаления воды и увеличения содержания сухих веществ в ткани яблока, полученные с помощью модели Peleg, указали на благоприятный эффект как ВП, так и УЗ обработки, использованных в процессе ОД. Более того, содержание кальция, а также общее содержание фенолов и антиоксидантная способность ломтиков яблок после процесса сушки оставались хорошо сохраненными, особенно при использовании интервальной обработки УЗ и ОД [67]. М. Katsouli et al. и G. Oliveira et al., используя мягкий режим ИЭП в сочетании с ОД или нанесением съедобного покрытия (хитозан или процианидин), добились восстановления цианидин-3-О-глюкозида, определенного в исследовании *in vitro* [68; 79]. А. Rodriguez et al. использовали съедобные покрытия из альгината натрия и низкометоксилированного пектина для получения необходимого содержания сухих веществ грушевых кубиков в растворе сахарозы (40–60 °Brix, 20–40 °C в течение 1–16 ч) [83]. Образцы, покрытые пектином и подвергнутые воздействию ОД с содержанием в растворе сухих веществ менее 60 °Brix в течение 16 ч, показали наилучшую эффективность процесса независимо от температуры. Альгинатное покрытие лучше удерживало содержание фенолов (31,40 %), чем контрольный образец (26,04 %) и образец, покрытый пектином (20,77 %). М. Mohammadkhani et al. исследовали влияние эмульсионного покрытия из муки семян *Lepidium perfoliatum* (LPSG) в концентрации 0–1 % масс/об и олеиновой кислоты в концентрации 0–3 % на массоперенос и осмотическое качество обезвоженных яблочных кубиков [89]. Они не выявили влияния олеиновой кислоты, а массоперенос и качество образцов улучшились при использовании покрытия с 0,5 % LPSG, что привело к большей потере воды и меньшему приросту массы обезвоженных яблок [89]. На момент написания данного обзора не установлены исследования, подтверждающие высокую эффективность методов контроля массопереноса, которые препятствовали бы потере нативных или обогащенных компонентов. Высушенная поверхность образцов может служить барьером для потери нативных компонентов, но это не было подтверждено и не применялось. В случае производства обогащенных закусок из сухофруктов подходящим решением может быть использование одной из таких процедур, как ИЭП, УЗ, замораживание или изменение давления, для эффективного снижения содержания воды и увеличения возможности обогащения материала желаемыми компонентами осмотического раствора. Использование съедобных покрытий на следующем этапе окончательной сушки позволяет производить высококачественные сушеные продукты, которые обладают высокой пищевой ценностью и оказывают благоприятное влияние на здоровье [90].

Современные нетермические методы обработки. Импульсное электрическое поле. Обработка импульсным электрическим полем (ИЭП) – это признанная нетермическая технология, которая используется для сохранения свежих продуктов за счет применения коротких импульсов

в диапазоне напряженности электрического поля [1]. ИЭП имеет различные преимущества, такие как экологичность, низкое энергопотребление, экономическая эффективность и короткое время обработки при сохранении органолептических и питательных качеств пищи и продлении срока ее хранения без образования химических остатков или загрязнения окружающей среды. Следовательно, эту технологию можно применять для стерилизации, обеззараживания, экстракции, замораживания, оттаивания, сушки и консервирования пищевых продуктов [1; 91–93]. Проведение обработки ИЭП включает в себя размещение матрицы между двумя электродами (в статическом или непрерывном режиме) и заполнение пространства между материалом и электродами электропроводящей средой (обычно водой). Электрический ток подается в такую систему в определенной серии высокоинтенсивных электрических импульсов [93]. В зависимости от желаемой цели существуют два наиболее часто используемых диапазона напряженности электрического поля. Если цель состоит только в нарушении непрерывности структуры обрабатываемой ткани, например, для повышения эффективности экстракции или для вызова эффекта размягчения, достаточно обеспечить импульсы шириной (длительностью импульса) 10–1000 мкс при интенсивности 0,1–5,0 кВ/см. Однако если основной причиной использования технологии ИЭП является необходимость повысить безопасность пищевых продуктов за счет уничтожения микроорганизмов, то требуются более радикальные параметры процесса – импульсы шириной 1,0–5,0 мкс при интенсивности 15–80 кВ/см [1]. Это различие возникает из-за необходимости подгонять напряженность электрического поля под размер клеток, являющихся целевыми для применения ИЭП (40–200 мкм в случае эукариотических растительных клеток; 1–10 мкм для микробных клеток). Чем больше клетки, тем ниже напряженность электрического поля, необходимая для индукции электропорации (электропермеабилитации) [92; 93]. Электропорация, проще говоря, это создание пор в клеточной мембране обработанного материала, что улучшает миграцию некоторых компонентов из его внутренней части и изменяет механические свойства обработанной матрицы. Она может иметь два типа эффектов в зависимости от жизнеспособности клеток после снятия внешнего электрического поля – обратимый (сохраняет клетки живыми) и необратимый (вызывает гибель клеток) [1]. Нетермическая природа этого метода обусловлена отсутствием прямого нагрева обрабатываемого материала. При рассмотрении устойчивости конкретной технологии учитываются несколько различных аспектов. Первый – это потенциальное снижение себестоимости данного продукта и возможность уменьшения количества энергии, потребляемой при его производстве [1; 94]. В случае сушки, которая является одним из наиболее энергоемких процессов в пищевой промышленности, обе эти цели могут быть достигнуты за счет сокращения продолжительности процесса [1; 95]. Для этого используются различные виды предварительной обработки, такие как обработка ИЭП, ультразвуком (УЗ), высоким гидростатическим давлением (ВГД), применение этанола и бланширование. Значительная эффективность технологии ИЭП может быть достигнута даже при очень короткой обработке (несколько мкс), что также определяет ее устойчивый характер (низкое энергопотребление) [95]. Другим аспектом, который учитывается при оценке уровня устойчивости данной технологии, является возможность сокращения количества образующихся отходов производства и возможность повышения эффективности использования сырья [94]. Стоит отметить, что обработка ИЭП не приводит к загрязнению окружающей среды и после обработки не остается никаких химических остатков [94; 96]. Однако существует риск образования свободных радикалов в обработанной таким образом ткани. Одной из возможных физиологических реакций растений на стресс, вызванный электропорацией, может быть генерация свободных радикалов и окислителей (ROS – активных форм кислорода) [1; 95]. Это высокореактивные нестабильные биологические вещества, которые вызывают процессы окисления белков и липидов, повреждая клетки. Воздействие активных форм кислорода на пищевые продукты может привести к образованию окисленных продуктов, разложению некоторых пищевых ингредиентов и даже к их полной деградации [93]. При исследовании

сушеного манго, подвергнутого предварительной обработке ИЭП с последующей сушкой в вакууме или горячим воздухом, общее содержание каротиноидов в образце, обработанном ИЭП, было выше, чем в контрольном образце, а именно 50,8 мг/100 г сухого вещества для вакуумной сушки и 57,5 мг/100 г сухого вещества при сушке горячим воздухом, в то время как в образцах без предварительной обработки сохранялось только 21,0 мг/100 г СВ при вакуумной сушке и 47,0 мг/100 г СВ при сушке горячим воздухом [95]. По сравнению с необработанным сублимированным образцом обработанные ИЭП и сублимированные плоды киви показали меньшее падение содержания хлорофилла после 60 дней хранения (как с воздействием света, так и без него) [97]. Кроме того, ИЭП может сократить время сушки, тем самым сводя к минимуму обесцвечивание. В цветовом параметре для значения L сушеная морковь, обработанная ИЭП, имела меньшее снижение значения L по сравнению с необработанной сушеной морковью. Электропорация под действием ИЭП увеличивает секрецию внутриклеточного содержимого, такого как каротиноиды [95]. Исследование влияния комбинации ИЭП и ультразвуковой обработки на сушку клюквы выявило, что содержание антоцианов в образцах, обработанных ИЭП и ультразвуком, было меньше, чем в образцах, подвергнутых бланшированию; это было связано с большей дезинтеграцией материала и большим выщелачиванием полярных соединений. Кроме того, образование радикалов ОН из-за ИЭП и предварительной обработки ультразвуком может снизить содержание антоцианов в осмодегидратированной клюкве [93]. При исследовании сушеных яблок, предварительно обработанных ИЭП в дозе 0,5–1,0 кДж/кг, общее содержание фенолов было на 47,3 % выше, чем в яблоках без предварительной обработки ИЭП. Это происходит в результате индуцированной ИЭП продукции новых соединений, которые можно обнаружить с помощью метода Фолина – Чиокальтеу. Кроме того, на основе анализа активности сушеных яблок, предварительно обработанных ИЭП, было отмечено снижение DPPH на 52,7 % и ABTS на 60,0 % по сравнению с яблоками без предварительной обработки ИЭП, что связано с просачиванием биоактивных компонентов в среду во время обработки. Несмотря на эти результаты, не наблюдалось существенной связи между общим содержанием фенолов в анализах ABTS или DPPH [93; 95]. Можно видеть, что эффективность ИЭП максимально зависит от характеристик обработанной матрицы, а также используемых рабочих параметров ИЭП. В связи с этим особое значение имеет оптимизация этого процесса.

Ультразвук. Среди нетермических технологий именно УЗ наиболее эффективно улучшает массообмен при размораживании, замораживании, осмотической дегидратации и экстракции [98–100]. УЗ может использоваться для предварительной обработки материала в воде или осмотическом растворе, а также в качестве основного метода в процессе [90; 100; 101]. УЗ может подаваться на обрабатываемый материал напрямую (контактный метод), а также косвенно (с использованием ультразвуковых ванн или зондов и соответствующей среды, передающей УЗ) [93; 95]. Обработка материалов воздушным УЗ (косвенный метод) связана с высоким затуханием энергии и низким усилением внутреннего массопереноса [1; 90; 100]. Чтобы устранить эти проблемы, все чаще используется прямой метод. Ультразвуковая энергия затем подается непосредственно на материал, размещенный на ультразвуковой излучающей пластине, без перемещения через какую-либо среду. Это увеличивает производительность и улучшает эффективность УЗ, особенно за счет увеличения диапазона проникновения ультразвуковой энергии в материал [90]. В зависимости от интенсивности и частоты УЗ делится на две категории, характеризующиеся различными областями применения в пищевой промышленности. Низкоинтенсивное УЗ (с частотами выше 100 кГц и интенсивностью ниже 1 Вт/см²), называемое пассивным, не вызывает акустическую кавитацию и, следовательно, не влияет на продукт. Оно используется для контроля качества пищевых продуктов и управления процессами переработки и хранения. Высокоинтенсивное УЗ (с частотами в диапазоне 20–100 кГц и интенсивностью 1–1000 Вт/см²), также называемое активным, вызывает явление акустической кавитации, при котором образование и последующее схлопывание микропузырьков приводит к повышению

температуры и давления, что вызывает физические, химические и механические изменения в обрабатываемом материале [90; 102]. Тип обрабатываемой матрицы определяет процесс обработки, осуществляемый данным методом. При использовании жидкой среды могут наблюдаться такие явления, как кавитация и микроструйная очистка. Эти явления заключаются в образовании кавитационных пузырьков, которые увеличиваются в размерах до критической точки, после чего быстро разрушаются. В результате этого разрушения структура материала, охваченного и/или пронизанного пузырьками, разрушается (наибольшая интенсивность этого явления наблюдается на границе этих фаз). Однако при использовании твердой матрицы структура превращается в ткань, напоминающую губку, что является результатом чередующейся последовательности компрессий и декомпрессий, вызванных воздействием ультразвуковой волны. Образование микроканалов внутри структуры является еще одним отличительным признаком, возникающим при работе с твердотельной матрицей, что позволяет улучшить ее проницаемость [1; 90; 101; 102]. Сочетание съедобных покрытий с УЗ направлено на улучшение пищевой ценности сушеных закусок за счет снижения потери биологически активных соединений. F. Salehi, M. Inanloodoghrouz использовали ксантан, гуар и пленкообразующие растворы камедей дикого шалфея (концентрация 0,2 %) в качестве жидкостей в ультразвуковой ванне для погружения черешни (3 мин, 40 кГц, 150 Вт) в качестве инновационной предварительной обработки перед сушкой при 70 °C [103]. Авторы установили, что обработанные фрукты показали значительное увеличение как среднего времени сушки, так и среднего коэффициента регидратации, от 130 мин до диапазона 140–175 мин и с 141,81 % до диапазона 156,87–176,21 % для непокрытых и покрытых фруктов соответственно. Однако, учитывая общее содержание фенолов в сушеной черешне, ультразвуковая предварительная обработка и покрытия из камеди привели к более высоким значениям. Кроме того, антиоксидантный потенциал сухофруктов сохранялся. F. Salehi et al. показали, что применение УЗ (12 мин, 40 кГц и 150 Вт) и съедобного покрытия на основе гуара, альгината натрия и камедей семян базилика сокращало время сушки, а общее содержание фенолов в обработанных ультразвуком и покрытых половинках вишни было выше, чем в необработанных образцах [78]. Более того, антиоксидантная способность обработанных половинок сохранялась при обработке покрытием. Продолжительность обработки материала с использованием УЗ коротка (в некоторых случаях – всего несколько минут, в зависимости от выбранной цели), так же, как и с ИЭП. Кроме того, использование УЗ демонстрирует низкий уровень потребления энергии – для сравнения, метод ИЭП потребляет еще меньше энергии [104]. Кроме того, преимущества УЗ включают нетоксичность и отсутствие негативного воздействия на окружающую среду [102; 104]. Тем не менее УЗ может способствовать неконтролируемым и нежелательным изменениям физико-химических или структурных свойств органических соединений. Отрицательным эффектом УЗ и особенно явления акустической кавитации является риск образования высокореактивных свободных радикалов, например, H^+ и $\bullet OH$ радикалов, которые разрывают связи $O-H$ в молекулах воды, вызывая различные химические процессы в пище, например, окисление липидов [102]. Возможность ускорения процесса сушки и снижения температуры сушильной среды благодаря использованию УЗ приводит к снижению себестоимости полученного продукта [104]. Например, в исследовании, проведенном на киви, B. Llavata et al. попытались оценить влияние УЗ, поддерживающего НАД, на ход процесса, а также различные свойства полученного продукта [105]. Было показано, что УЗ смог значительно сократить продолжительность процесса сушки (на 18–30 %) без отрицательного влияния на сохранение биологически активных ингредиентов в сушеных киви. В свою очередь, N. Çetin, C. Sağlam проанализировали влияние УЗ на гибридную сушку разных сортов яблок (Golden Delicious, Oregon Spur и Granny Smith) [101]. В зависимости от сорта яблок применение УЗ позволило сократить время сушки на 8–31 %. К сожалению, действие УЗ привело к снижению общего содержания фенолов, антирадикальной активности и общего содержания аскорбиновой кислоты в сушеных продуктах, полученных из яблок сортов Golden Delicious и Oregon Spur.

Совершенно противоположные тенденции наблюдались в случае продукта из яблок Granny Smith: те образцы, которые были получены с применением УЗ перед гибридной сушкой, отличались более высоким, чем в необработанных, содержанием вышеупомянутых соединений. В целом, более высокое сохранение этих ингредиентов может быть связано с сокращением времени сушки под действием УЗ, что ограничивает деградацию чувствительных биологически активных ингредиентов [101]. Однако метод обработки УЗ – погружение в воду – может приводить к выщелачиванию некоторых растворимых соединений из обработанной ткани в раствор. Сокращение времени сушки в результате применения предварительной обработки ультразвуком также было подтверждено в исследованиях, проведенных, в частности, на папайе и ананасе [106; 107]. В зависимости от материала и параметров процесса время сушки сокращалось на 19–40 %. Как уже упоминалось выше, модификация структуры ткани, обработанной УЗ, заключающаяся в образовании в ней микроканалов и, как следствие, получении продукта с губчатой текстурой, снижает барьер для диффузии воды в ткани, что приводит к увеличению скорости сушки и, следовательно, сокращению времени сушки [90]. В то же время эти исследования подтвердили отрицательное влияние УЗ на содержание различных биологически активных веществ, а именно аскорбиновой кислоты, фенолов и флавоноидов. Например, снижение содержания аскорбиновой кислоты в папайе, предварительно обработанной УЗ, объяснялось хорошей растворимостью этих соединений в воде. УЗ разрушает клеточные стенки, вызывая увеличение концентрации некоторых биологически активных соединений в межклеточном пространстве, где они легче переходят в раствор и/или легче разрушаются при сушке. Следует также отметить риск образования свободных радикалов в результате ультразвуковой обработки материала, что может снизить удерживание фенолов. Применение ультразвуковых волн требует индивидуального подбора их параметров и метода распространения для конкретного вида пищевого продукта.

Холодная плазма и высокое гидростатическое давление. Одной из самых новых нетермических технологий в пищевой промышленности является холодная плазма (ХП). Описываемая как четвертое состояние вещества, ХП представляет собой смесь частично или полностью ионизированных газов. Из-за содержания электронов, свободных радикалов, нейтральных молекул, а также положительных и отрицательных ионов, реагирующих друг с другом, ХП может взаимодействовать с пищевыми материалами и модифицировать их [108; 109]. Состав плазмы может различаться в зависимости от типа газа-носителя (например, воздух, кислород, азот, гелий и аргон), генератора плазмы (радиоволны, СВЧ, плазменная струя и диэлектрические разряды) и условий процесса (время, температура и давление) [93]. Плазменная технология в пищевой промышленности изначально использовалась для устранения опасных микробов, ферментов, остатков пестицидов и антибиотиков, а также других загрязняющих веществ. Однако в последние несколько лет метод ХП также исследовался для улучшения процесса сушки, в том числе сушки фруктов [108; 109]. Обработка ХП может разрушить кожуру фруктов и создать более грубые, более неравномерные поры и трещины, которые облегчают испарение воды. Эти изменения вызваны разрывом связей полимеров клеточной стенки друг с другом и атомами водорода [110]. Улучшение процесса сушки также связано с внутренними структурными изменениями. Во время обработки ХП внутриклеточные связи разрываются, и, как следствие, создаются микропоры и внутриклеточные пространства [110; 111]. Поскольку предварительная обработка ХП влияет на микроструктуру, она также приводит к изменениям содержания биологически активных соединений в конечных сухофруктах. Эти изменения определяются методом получения сушеных фруктов, его параметрами, а также типом обрабатываемого материала [93]. Несмотря на возможную деградацию биологически активных соединений во время действия ХП, эта обработка, применяемая перед сушкой, обычно способствует максимальному сохранению биологически активных веществ в высушенном образце, поскольку процесс сушки, ответственный за большую часть потерь, сокращается [110; 112]. Однако слишком длительная

предварительная обработка ХП может отрицательно повлиять на сохранение активных ингредиентов, поскольку продолжительное время обработки усиливает их восприимчивость и снижает влияние предотвращения их деградации [110; 111]. Например, Т. Вао et al. отметили, что антиоксидантная активность возросла с сокращением времени сушки после предварительной обработки ХП [113]. В свою очередь, К. Subrahmanyam et al., Y-H. Zhou et al. установили, что как слишком короткая, так и слишком долгая продолжительность ХП может ослабить эффективность действия предварительной обработки ХП на содержание фенолов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты и антиоксидантную активность [112; 114].

Высокое гидростатическое давление (ВГД), также известное как обработка под высоким давлением (НРР), представляет собой один из старейших и наиболее распространенных нетермических методов обработки пищевых продуктов [1]. Эта обработка включает использование давления в диапазоне 100–1000 МПа, а средой давления является вода [1; 93]. Основное применение технологии ВГД – консервация пищевых продуктов, поскольку она позволяет инактивировать микроорганизмы и ферменты, сохраняя при этом низкомолекулярные молекулы, включая витамины, нетронутыми [93; 115]. Кроме того, ВГД влияет на проницаемость клеточной мембраны, усиливая диффузию и массообмен во время различных операций. Поэтому его можно применять также перед такими процессами, как сушка, ОД и замораживание [93]. Было показано в многочисленных исследованиях, что обработка ВГД, применяемая перед сушкой, может сократить время сушки таких фруктов, как яблоки, ананасы, черника, сливы, зизифус и сублимированная клубника [93]. В исследовании Yücel et al. показано, что чем ниже была температура сушки, тем более значимый эффект предварительной обработки ВГД на время сушки был установлен. Кроме того, исследователи заметили, что различные параметры (температура, давление, время) ВГД влияли на время сушки. Например, время сушки яблок при температуре 65 °C составило 92,62 мин, в то время как обработка ВГД позволила сократить время сушки до 91,06 и 82,80 мин при параметрах ВГД 100 МПа, 15 мин, 20 °C и 200 МПа, 45 мин, 35 °C соответственно [116]. Кроме того, качество высушенного продукта может быть улучшено в случае предварительной обработки ВГД. Santos et al., L. Zhang et al. установили, что общее содержание фенолов в сушеных сливах увеличилось на 11 % и 22 % при предварительной обработке ВГД при давлении 200 и 400 МПа соответственно. По данным L. Zhang et al., обработка ВГД перед сублимационной сушкой клубники позволила получить плоды с повышенным содержанием антоцианов, более светлые, красноватые и пористые в более короткие сроки [117; 118]. Подводя итог, можно сказать, что предварительная обработка ВГД может положительно влиять на сушку плодов, особенно при более низких температурах, но оптимальные параметры высокого давления и условия сушки должны подбираться в зависимости от обрабатываемого материала.

В условиях сезонности и подверженности свежих фруктов порче сушка плодовоовощного сырья и полученные сухофрукты представляют собой практичное решение для обеспечения микробиологической безопасности и производства питательных, богатых клетчаткой продуктов, при этом сохраняется их качество и доступность в течение всего года. Однако традиционные методы сушки часто приводят к потере питательных веществ и ухудшению органолептических характеристик. Ключевыми аспектами повышения качества сухофруктов и снеков на их основе являются методы предварительной обработки, такие как вакуумная пропитка и осмотическая дегидратация, которые способствуют лучшему сохранению питательных веществ и улучшению органолептических показателей качества. Эти методы позволяют интегрировать биологически активные соединения, увеличивая пищевую ценность сухофруктов и их благоприятное влияние на организм. Более того, в производстве снеков можно использовать побочные продукты фруктов, такие как выжимки, кожура и семена, что служит устойчивым решением проблемы пищевых отходов и одновременно обогащает сухофрукты дополнительными волокнами и полифенолами.

Кроме того, технологии нетермической обработки, такие как импульсное электрическое поле (ИЭП), ультразвуковая обработка (УЗ), высокое гидростатическое давление (ВГД) и холодная плазма (ХП), способствуют сохранению биологически активных веществ и повышению пищевой ценности сухофруктов. Данные инновационные методы показывают эффективность в сохранении необходимых питательных веществ и биологически активных соединений, оптимизируя эффективность сушки и снижая энергопотребление. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию технологий переработки для уменьшения энергозатрат при производстве сухофруктов, максимального сохранения питательных веществ, улучшения вкусовых характеристик и повышения общей привлекательности для потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурак Л. Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодово-овощного сырья и соковой продукции: монография. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 236 с. – DOI: 10.12737/0.12737/2154991. – ISBN: 978-5-16-020036-1.
2. Бурак Л. Ч. Ультрапереработанные продукты питания: методы снижения их калорийности и повышения пищевой ценности (Обзор предметного поля) // Health, Food & Biotechnology. – 2025. – Т. 7, № (2). – С. 41–75. – DOI: 10.36107/hfb.2025.i2.s258.
3. Fruits and Vegetables for Healthy Diets: Priorities for Food System Research and Action / J. Harris, B. de Steenhuijsen Piters, S. McMullin [et al.] // Science and Innovations for Food Systems Transformation / Eds. J. von Braun, K. Afsana, L. O. Fresco, M. H. A. Hassan. – Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2023. – P. 87–104. – DOI: 10.1007/978-3-031-15703-5_6.
4. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation / R. M. S. C. Morais, A. M. M. B. Morais, I. Dammak // Journal of Food Quality. – 2018. – Vol. 3. – P. 1–29. – DOI: 10.1155/2018/1739636.
5. The Effect of Storage Time and Temperature on Quality Changes in Freeze-Dried Snacks Obtained With Fruit Pomace and Pectin Powders as a Sustainable Approach for New Product Development / M. Karwacka, A. Cieurzyńska, S. Galus, M. Janowicz // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 11. – P. 4736. – DOI: 10.3390/su16114736.
6. Sustainable Approach for Development Dried Snack Based on Actinidia deliciosa Kiwifruit / M. Nowacka, C. Mannozi, M. Dalla Rosa, U. Tylewicz. // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 4. – P. 2189. – DOI: 10.3390/app13042189.
7. Selected Dried Fruits as a Source of Nutrients / I. Rybicka, J. Kiewlicz, P. Ł. Kowalczewski, A. Gliszczynska-Świgło // European Food Research and Technology. – 2021. – Vol. 247, No. 10. – P. 2409–2419. – DOI: 10.1007/s00217-021-03802-1.
8. Бурак Л. Ч. Современные методы бланширования и их влияние на процесс сушки фруктов и овощей // Вестник МГТУ. – 2025. – Т. 28, № 2. – С. 273–295. – DOI: 10.21443/1560-9278-2025-28-2-273-295.
9. Nutrient Density, Added Sugar, and Fiber Content of Commercially Available Fruit Snacks in the United States From 2017 to 2022 / H. Fu, C. H. Lee, A. A. Nolden, A. J. Kinchla // Nutrients. – 2024. – Vol. 16, No. 2. – P. 292. – DOI: 10.3390/nu16020292.
10. Бурак Л. Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. – 2024. – № 1. – С. 99–119. – DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013.
11. Омелько В. А. Использование сухофруктов в рационе питания с целью профилактики онкологической патологии // Современные проблемы гигиены, радиационной и экологической медицины. – 2023. – Т. 13, № S1. – С. 128–133.
12. Макаренкова О. Г., Шевякова Л. В., Бессонов В. В. Сухофрукты – природный источник микроэлементов // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84, № S5. – С. 51.
13. Emerging Technologies in Dried Fruit Snacks: Nutritional Enrichment and Sustainable Production / M. Nowacka, H. Kowalska, U. Tylewicz [et al.] // Compr Rev Food Sci Food Saf. – 2025. – Vol. 24 (4). – P. e70225. – DOI: 10.1111/1541-4337.70225.
14. Development of Drying and Roasting Processes for the Production of Plant-Based Pro-Healthy Snacks in the Light of Nutritional Trends and Sustainable Techniques / M. Chobot, M. Kozłowska, A. Ignaczak,

- H. Kowalska // Trends in Food Science & Technology. – 2024. – Vol. 149 (18). – P. 104553. – DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104553.
15. *Eating Habits and Sustainable Food Production in the Development of Innovative «Healthy Snacks»* / A. Ciurzyńska, P. Cieśluk, M. Barwińska [et al.] // Sustainability. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – P. 2800. – DOI: 10.3390/su11102800.
16. *Prebiotic-Alginate Edible Coating on Fresh-Cut Apple as a New Carrier for Probiotic Lactobacilli and Bifidobacteria* / M. V. Alvarez, M. F. Bambace, G. Quintana [et al.] // LWT. – 2021. – Vol. 137. – P. 110483. – DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110483.
17. *Effect of Selected Drying Methods and Emerging Drying Intensification Technologies on the Quality of Dried Fruit: A Review* / M. Radojčin, I. Pavkov, D. Bursać Kovačević [et al.] // Processes. – 2021. – Vol. 9, No. 1. – P. 132. – DOI: 10.3390/pr9010132.
18. *Sustainable Development of Apple Snack Formulated With Blueberry Juice and Trehalose* / J. M. Castagnini, S. Tappi, U. Tylewicz [et al.] // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 16. – P. 9204. – DOI: 10.3390/su13169204.
19. *Apple Slices Enriched With Aloe vera by Vacuum Impregnation* / A. Derossi, I. Ricci, A. G. Fiore Ricci, C. Severini // Italian Journal of Food Science. – 2018. – Vol. 30, No. 2. – P. 256–267. – DOI: 10.14674/IJFS-939.
20. *Effect of Ultrasound on Mass Transfer During Vacuum Impregnation and Selected Quality Parameters of Products: A Case Study of Carrots* / E. Radziejewska-Kubzdela, J. Szadzińska, R. Biegańska-Marecik [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. – 2023. – Vol. 99, No. 9. – P. 106592. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106592.
21. *Hawthorn Drying: An Exploration of Ultrasound Treatment and Microwave–Hot Air Drying* / M. Kaveh, M. Nowacka, E. Khalife [et al.] // Processes. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 978. – DOI: 10.3390/pr11040978.
22. *Hot Air-Assisted Radiofrequency Drying of Avocado: Drying Behavior and the Associated Effect on the Characteristics of Avocado Powder* / H. N. Özbek, B. Koç, D. Koçak Yanık, F. Göğüş // Journal of Food Process Engineering. – 2022. – Vol. 45, No. 9. – P. 1–11. – DOI: 10.1111/jfpe.14094.
23. *Hybrid Microwave-Hot Air Drying of the Osmotically Treated Carrots* / A. U. D. Souza, J. L. G. Corrêa, D. H. Tanikawa [et al.] // LWT. – 2022. – Vol. 156. – P. 113046. – DOI: 10.1016/j.lwt.2021.113046.
24. *Nutritional Value, Physical Properties, and Sensory Quality of Sugar-Free Cereal Bars Fortified With Grape and Apple Pomace* / A. Blicharz-Kania, K. Vasiukov, A. Sagan [et al.] // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 18. – P. 10531. – DOI: 10.3390/app131810531.
25. *Opportunities in Valorisation of Industrial Food Waste Into Extruded Snack Products – A Review* / A. Raleng, N. G. J. Singh, P. Chavan, A. K. Attkan // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2022. – Vol. 92, No. 10. – P. 1167–1174. – DOI: 10.56093/ijas.v92i10.113487.
26. Бурак Л. Ч., Егорова З. Е. Валоризация отходов переработки растительного сырья как путь достижения целей устойчивого развития // Sciences of Europe. – 2024. – № 152. – С. 13–21. – DOI: 10.5281/zenodo.14063716.
27. *Development of Healthy and Clean-Label Crackers Incorporating Apple and Carrot Pomace Flours* / S. Salari, T. Castiglione, J. Ferreira [et al.] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 14. – P. 5995. – DOI: 10.3390/su16145995.
28. *Recent advances in vacuum impregnation of fruits and vegetables processing: A concise review* / B. R. Vinod, R. Asrey, S. Sethi [et al.] // Heliyon. – 2024. – Vol. 10. – P. e28023. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28023.
29. *Saleena P., Jayashree E., Anees K. A. Comprehensive Review on Vacuum Impregnation: Mechanism, Applications and Prospects* // Food and Bioprocess Technology. – 2024. – Vol. 17, No. 6. – P. 1434–1447. – DOI: 10.1007/s11947-023-03185-z.
30. *Vacuum Impregnation Process and Its Potential in Modifying Sensory, Physicochemical and Nutritive Characteristics of Food Products* / A. S. Panayampadan, M. S. Alam, R. Aslam, J. Kaur // Food Engineering Reviews. – 2022. – Vol. 14, No. 2. – P. 229–256. – DOI: 10.1007/s12393-022-09312-4.
31. *Optimization and Modeling of Vacuum Impregnation of Pineapple Rings and Comparison With Osmotic Dehydration* / B. Thomas, S. K. Puliserry, K. B. Sankalpa [et al.] // Journal of Food Science. – 2024. – Vol. 89, No. 1. – P. 494–512. – DOI: 10.1111/1750-3841.16875.

32. *Assessment of Ultrasound-Assisted Vacuum Impregnation as a Method for Modifying Cranberries' Quality* / D. Mierzwa, J. Szadzińska, B. Gapiński [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2022. – Vol. 89. – P. 106117. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106117.
33. *Effectiveness of Cranberry (Vaccinium macrocarpon, cv. Pilgrim) Vacuum Impregnation: The Effect of Sample Pretreatment, Pressure, and Processing Time* / D. Mierzwa, J. Szadzińska, E. Radziejewska-Kubzdela [et al.] // *Food and Bioproducts Processing*. – 2022. – Vol. 134. – P. 223234. – DOI: 10.1016/j.fbp.2022.06.001.
34. *Effects of Optimized Osmotic Vacuum Impregnation on Quality Properties of Red Abalone (Haliotis rufescens) Drying* / S. Pizarro-Oteiza, C. Giovagnoli-Vicuña, V. Briones-Labarca, F. Salazar // *Journal of Food Measurement and Characterization*. – 2023. – Vol. 17, No. 5. – P. 4520–4529. – DOI: 10.1007/s11694-023-01987-5.
35. *Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration on Physiological Compound Enrichment of Model Food* / K. Sittisuanjik, P. Chottanom, A. Moongngarm, S. Deeseenthum // *Journal of Sustainability Science and Management*. – 2021. – Vol. 16, No. 2. – P. 38–52. – DOI: 10.46754/jssm.2021.02.006.
36. *Wang X., Kahraman O., Feng H. Impregnation-Mediated Natural Fortification of Sliced Apples With Hypertonic Fruit Juices: Mass Transfer Kinetics and Product Quality* // 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting (July 12–16, 2021). – 2021. – Pap. 2100758. – DOI: 10.13031/aim.202100758.
37. *From Biorefinery of Microalgal Biomass to Vacuum Impregnation of Fruit. A Multidisciplinary Strategy to Develop Innovative Food With Increased Nutritional Properties* / A. Derossi, M. Francavilla, M. Monteleone [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2021. – Vol. 70. – P. 102677. – DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102677.
38. *Fortified Apple (Malus spp., var. Fuji) Snacks by Vacuum Impregnation of Calcium Lactate and Convective Drying* / F. R. Assis, L. G. G. Rodrigues, G. Tribuzi [et al.] // *LWT*. – 2019. – Vol. 113. – P. 108298. – DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108298.
39. *Probiotic Survival and In Vitro Digestion of L. salivarius Spp. Salivarius Encapsulated by High Homogenization Pressures and Incorporated Into a Fruit Matrix* / E. Betoret, N. Betoret, L. Calabuig-Jiménez [et al.] // *LWT*. – 2019. – Vol. 111. – P. 883888. – DOI: 10.1016/j.lwt.2019.05.088.
40. *Comparison of Vacuum Impregnation and Soaking Techniques for Addition of the Probiotic Lactobacillus acidophilus to Minimally Processed Melon* / P. M. de Oliveira, A. M. Ramos, E. M. F. Martins [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2017. – Vol. 52, No. 12. – P. 2547–2554. – DOI: 10.1111/ijfs.13540.
41. *González-Pérez J. E., Ramírez-Corona N., López-Malo A. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: Process Factors and Non-Thermal Methods* // *Food Engineering Reviews*. – 2021. – Vol. 13, No. 2. – P. 344374. – DOI: 10.1007/s12393-020-09276-3.
42. *Combined Use of Blanching and Vacuum Impregnation With Trehalose and Green Tea Extract as Pre-Treatment to Improve the Quality and Stability of Frozen Carrots* / V. Santarelli, L. Neri, R. Moscetti [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. – 2021. – Vol. 14, No. 7. – P. 1326–1340. – DOI: 10.1007/s11947-021-02637-8.
43. *Yilmaz F. M., Ersus Bilek S. Natural Colorant Enrichment of Apple Tissue With Black Carrot Concentrate Using Vacuum Impregnation* // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2017. – Vol. 52, No. 6. – P. 15081516. – DOI: 10.1111/ijfs.13426.
44. *Vacuum Impregnation of β -Carotene and Lutein in Minimally Processed Fruit Salad* / M. Santana Moreira, D. de Almeida Paula, E. M. Furtado Martins [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2018. – Vol. 42, No. 3. – P. e13545. – DOI: 10.1111/jfpp.13545.
45. *Demir E., Dymek K., Galindo F. G. Technology Allowing Baby Spinach Leaves to Acquire Freezing Tolerance* // *Food and Bioprocess Technology*. – 2018. – Vol. 11, No. 4. – P. 809–817. – DOI: 10.1007/s11947-017-2044-7.
46. *Nyoto I. C., Gómez Galindo F. A. Comparison Between Pulsed Electric Field and Moderate Electric Field for Their Effectiveness in Improving the Freezing Tolerance of Rocket Leaves* // *Biochemistry and Biophysics Reports*. – 2023. – Vol. 35. – P. 101515. – DOI: 10.1016/j.bbrep.2023.101515.
47. *Effect of Pulsed Electric Field Coupled With Vacuum Infusion on Quality Parameters of Frozen/Thawed Strawberries* / E. Velickova, U. Tylewicz, M. Dalla Rosa [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2018. – Vol. 233. – P. 57–64. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.030.

48. *Iron Fortification of Whole Potato Using Vacuum Impregnation Technique With a Pulsed Electric Field Pretreatment* / M. Mashkour, Y. Maghsoudlou, M. Kashaninejad, M. Aalami // *Potato Research*. – 2018. – Vol. 61, No. 4. – P. 375389. – DOI: 10.1007/s11540-018-9392-1.
49. *Effect of the Pulsed Electric Field Treatment on Physical, Chemical and Structural Changes of Vacuum Impregnated Apple Tissue in Aloe vera Juices* / M. Trusinska, F. Drudi, K. Rybak [et al.] // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, No. 21. – P. 3957. – DOI: 10.3390/foods12213957.
50. *Vacuum Impregnation of Chitosan-Based Edible Coating in Minimally Processed Pumpkin* / A. S. de Soares, A. M. Ramos, É. N. R. Vieira [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2018. – Vol. 53, No. 9. – P. 2229–2238. – DOI: 10.1111/ijfs.13811.
51. *Senturk Parreidt T., Müller K., Schmid M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications* // *Foods*. – 2018. – Vol. 7, No. 10. – P. 170. – DOI: 10.3390/foods7100170.
52. *The Effect of Selected Fruit Juice Concentrates Used as Osmotic Agents on the Drying Kinetics and Chemical Properties of Vacuum-Microwave Drying of Pumpkin* / K. Lech, A. Figiel, A. Michalska [et al.] // *Journal of Food Quality*. – 2018. – P. 1–11. – DOI: 10.1155/2018/7293932. – ISBN: 1745-4557.
53. *Мачнева И. А., Дрофичева Н. В., Причко Т. Г. Научное обоснование применения методов дегидратации плодово-ягодного сырья при производстве сухофруктов* // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. – 2021. – № 70 (4). – С. 269–296. – DOI: 10.30679/2219-5335-2021-4-70-269-296.
54. *Edible Coatings as Osmotic Dehydration Pretreatment in Nutrient-Enhanced Fruit or Vegetable Snacks Development: A Review* / H. Kowalska, A. Marzec, E. Domian [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2021. – Vol. 20, No. 6. – P. 5641–5674. – DOI: 10.1111/1541-4337.12837.
55. *Ahmed I., Qazi I. M., Jamal S. Developments in Osmotic Dehydration Technique for the Preservation of Fruits and Vegetables* // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2016. – Vol. 34. – P. 29–43. – DOI: 10.1016/j.ifset.2016.01.003.
56. *Çağlayan D., Mazi B. I. Effects of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration as a Pretreatment and Finish Drying Methods on the Quality of Pumpkin Slices* // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2018. – Vol. 42, No. 9. – P. e13679. – DOI: 10.1111/jfpp.13679.
57. *Бурак Л. Ч., Санац А. Н. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения* // *Пищевые системы*. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 80–94. – DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94.
58. *Saleena P., Jayashree E., Anees K. Recent Developments in Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review* // *Pharma Innovation*. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 40–50.
59. *The Effect of Filtration on Physical and Chemical Properties of Osmo-Dehydrated Material* / K. Masztalerz, A. Figiel, A. Michalska-Ciechanowska [et al.] // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25, No. 22. – P. 5412. – DOI: 10.3390/molecules25225412.
60. *Influence of Osmodehydration Pretreatment and Combined Drying Method on the Bioactive Potential of Sour Cherry Fruits* / P. Nowicka, A. Wojdyło, K. Lech, A. Figiel // *Food and Bioprocess Technology*. – 2015. – Vol. 8, No. 4. – P. 824836. – DOI: 10.1007/s11947-014-1447-y.
61. *Figiel A., Michalska A. Overall Quality of Fruits and Vegetables Products Affected by the Drying Processes With the Assistance of Vacuum-Microwaves* // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2016. – Vol. 18, No. 1. – P. 71. – DOI: 10.3390/ijms18010071.
62. *Assis F. R., Morais R. M. S. C., Morais A. M. M. B. Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison between Mathematical Models* // *Food Engineering Reviews*. – 2016. – Vol. 8, No. 2. – P. 116–133. – DOI: 10.1007/s12393-015-9123-1.
63. *Mari A., Parisouli D. N., Krokida M. Exploring Osmotic Dehydration for Food Preservation: Methods, Modelling, and Modern Applications* // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 17. – P. 2783. – DOI: 10.3390/foods13172783.
64. *Wang X., Feng H. Pea Protein Isolate and Inulin as Plant-Based Biomacromolecules for Reduction of Sugar Uptake in Osmotic Dehydration* // *Journal of Food Process Engineering*. – 2023. – Vol. 46, No. 9. – P. 1–10. – DOI: 10.1111/jfpe.14417.
65. *Insight Into the Effect of Osmosis Agents on Macro- and Micro- Texture, Water Distribution, and Thermal Stability of Instant Controlled Pressure Drop Drying Peach Chips* / F. Wang, J. Bi, M. Lyu, J. Lyu // *Food Chemistry*. – 2024. – Vol. 440. – P. 138236. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138236.

66. *Impact of Using Alternative Sweetener as Osmotic Agent on Mass Transfer, Colour and Texture Properties during Dip Dehydration of Apple Slice* / I. N. Mohd Fadil, W. M. F. Wan Mokhtar, W. A. F. Wan Mohamad, I. Ismail // *Journal of Agrobiotechnology*. – 2021. – Vol. 12, No. 1S. – P. 74–82. – DOI: 10.37231/jab.2021.12.1S.272.
67. *Wang X., Kapoor R., Feng H.* Exploring the Effects of Vacuum and Ultrasound Treatments on Calcium Fortification in Osmotically Dehydrated Apple Slices // *LWT*. – 2023. – Vol. 187. – P. 115386. – DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115386.
68. *Shelf-Life Enhancement Applying Pulsed Electric Field and High-Pressure Treatments Prior to Osmotic Dehydration of Fresh-Cut Potatoes* / M. Katsouli, E. Dermesonlouoglou, G. Dimopoulos [et al.] // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – P. 171. – DOI: 10.3390/foods13010171.
69. *Osmotic Dehydration Assisted Impregnation of Lactobacillus rhamnosus in Banana and Effect of Water Activity on the Storage Stability of Probiotic in the Freeze-dried Product* / M. P. Rascón, K. Huerta-Vera, L. A. Pascual-Pineda [et al.] // *LWT*. – 2018. – Vol. 92. – P. 490–496. – DOI: 10.1016/j.lwt.2018.02.074.
70. *Osmotic Dehydration of Honeoye Strawberries in Solutions Enriched With Natural Bioactive Molecules* / H. Kowalska, A. Marzec, J. Kowalska [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 85. – P. 500–505. – DOI: 10.1016/j.lwt.2017.03.044.
71. *The Influence of Physical Properties of Selected Plant Materials on the Process of Osmotic Dehydration* / K. Lech, A. Michalska, A. Wojdyło [et al.] // *LWT*. – 2018. – Vol. 91. – P. 588–594. – DOI: 10.1016/j.lwt.2018.02.012.
72. *Intermittent Microwave Drying and Heated Air Drying of Fresh and Isomaltulose (Palatinose) Impregnated Strawberry* / L. L. Macedo, J. L. G. Corrêa, I. Petri Júnior [et al.] // *LWT*. – 2022. – Vol. 155. – P. 112918. – DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112918.
73. *Sethi K., Kaur M.* Effect of Osmotic Dehydration on Physicochemical Properties of Pineapple Using Honey, Sucrose and Honey-Sucrose Solutions // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – P. 6257–6262. – DOI: 10.35940/ijeat.A2026.109119.
74. *Combined Hot Air and Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Effects of Pretreatments and Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration on Drying Kinetics and Physicochemical Properties* / Z.-L. Liu, I. Staniszewska, D. Zielinska [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. – 2020. – Vol. 13, No. 10. – P. 1848–1856. – DOI: 10.1007/s11947-020-02507-9.
75. *Review of Osmotic Dehydration: Promising Technologies for Enhancing Products' Attributes, Opportunities, and Challenges for the Food Industries* / A. Asghari, P. A. Zongo, E. F. Osse [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2024. – Vol. 23, No. 3. – P. 128. – DOI: 10.1111/1541-4337.13346.
76. *Şahin U., Öztürk H. K.* Effects of Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration (PVOD) on Drying Kinetics of Figs (*Ficus carica* L) // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2016. – Vol. 36. – P. 104–111. – DOI: 10.1016/j.ifset.2016.06.003.
77. *Effects of Osmotic Dehydration (With and Without Sonication) and Pectin-Based Coating Pretreatments on Functional Properties and Color of Hot-Air Dried Apricot Cubes* / R. Sakoei-Vayghan, S. H. Peighambaroust, J. Hesari, D. Peressini // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 311. – P. 125978. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125978.
78. *Salehi F., Cheraghi R., Rasouli M.* Mass Transfer Analysis and Kinetic Modeling of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Kiwifruit Slices // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 11859. – DOI: 10.1038/s41598-023-39146-x.
79. *Effects of Pulsed Electric Field-Assisted Osmotic Dehydration and Edible Coating on the Recovery of Anthocyanins From In Vitro Digested Berries* / G. Oliveira, U. Tylewicz, M. Dalla Rosa [et al.] // *Foods*. – 2019. – Vol. 8, No. 10. – P. 505. – DOI: 10.3390/foods8100505.
80. *Drying Characteristics, Microstructure, Glass Transition Temperature, and Quality of Ultrasound-Strengthened Hot Air Drying on Pear Slices* / Y. Liu, Y. Zeng, Q. Wang [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2019. – Vol. 43, No. 3. – P. e13899. – DOI: 10.1111/jfpp.13899.
81. *Osmotic Dehydration Under High Hydrostatic Pressure: Effects on Antioxidant Activity, Total Phenolics Compounds, Vitamin C and Col of Strawberry (*Fragaria vesca*)* / Y. Nuñez-Mancilla, M. Prez-Won, E. Uribe [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 52, No. 2. – P. 151–156. – DOI: 10.1016/j.lwt.2012.02.027.

82. Araya-Farias M., Macaigne O., Ratti C. On the Development of Osmotically Dehydrated Seabuckthorn Fruits: Pretreatments, Osmotic Dehydration, Postdrying Techniques, and Nutritional Quality // *Drying Technology*. – 2014. – Vol. 32, No. 7. – P. 813–819. – DOI: 10.1080/07373937.2013.866143.
83. Rodriguez A., Soteras M., Campañone L. Review: Effect of the Combined Application of Edible Coatings and Osmotic Dehydration on the Performance of the Process and the Quality of Pear Cubes // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2021. – Vol. 56, No. 12. – P. 6474–6483. – DOI: 10.1111/ijfs.15357.
84. Etemadi A., Alizadeh R., Sirousazar M. The Influence of Natural Basil Seed Gum Coats on the Kinetics of Osmotic Dehydration of Apple Rings // *Food and Bioprocess Technology*. – 2020. – Vol. 13, No. 9. – P. 1505–1515. – DOI: 10.1007/s11947-020-02492-z.
85. Comparison of Pulsed Vacuum and Ultrasound Osmotic Dehydration on Drying of Chinese Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Drying Characteristics, Antioxidant Capacity, and Volatile Profiles / K. An, D. Tang, J. Wu [et al.] // *Food Science & Nutrition*. – 2019. – Vol. 7, No. 8. – P. 2537–2545. – DOI: 10.1002/fsn3.1103.
86. George J. M., Senthamizh Selvan T., Rastogi N. K. High-Pressure-Assisted Infusion of Bioactive Compounds in Apple Slices // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2016. – Vol. 33. – P. 100–107. – DOI: 10.1016/j.ifset.2015.11.010.
87. Dehydration – rehydration Mechanism of Vegetables at the Cell-Wall and Cell-Membrane Levels and Future Research Challenges / B. Wang, Y. Li, Y. Lv [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2024. – Vol. 64, No. 30. – P. 11179–11195. – DOI: 10.1080/10408398.2023.2233620.
88. Obajemihi O. I., Cheng J.-H., Sun D.-W. Enhancing Moisture Transfer and Quality Attributes of Tomato Slices Through Synergistic Cold Plasma and Osmodehydration Pretreatments During Infrared-Assisted Pulsed Vacuum Drying // *Journal of Food Engineering*. – 2025. – Vol. 387. – P. 112335. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2024.112335.
89. Mohammadkhani M., Koocheki A., Mohebbi M. Effect of *Lepidium perfoliatum* Seed Gum – Oleic Acid Emulsion Coating on Osmotic Dehydration and Subsequent Air-Drying of Apple Cubes // *Progress in Organic Coatings*. – 2024. – Vol. 186. – P. 107986. – DOI: 10.1016/j.porgcoat.2023.107986.
90. Бурак Л. Ч., Завалей А. П. Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор // *Техника и технология пищевых производств*. – 2024. – Т. 54, № 2. – С. 342–357. – DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510.
91. Казуб В. Т., Кошкарова А. Г. Применение импульсного электрического поля для интенсификации процессов экстрагирования // *Промышленные процессы и технологии*. – 2022. – Т. 2, № 3. – С. 40–46. – DOI 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-40-46.
92. A Novel Application of Pulsed Electric Field as a Key Process for Quick-Cooking Rice Production / S. Thongkong, A. Yawootti, W. Klangpetch [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2023. – Vol. 90. – P. 103494. – DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103494.
93. Бурак Л. Ч. Современные методы обработки и консервирования плодовоовощного сырья: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2024. – 488 с. – ISBN 978-5- 507-48119-4.
94. Pulsed Electric Field-Based Technology for Microbial Inactivation in Milk and Dairy Products / R. N. Cavalcanti, C. F. Balthazar, L. P. Margalho [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. – 2023. – Vol. 54. – P. 101087. – DOI: 10.1016/j.cofs.2023.101087.
95. Бурак Л. Ч., Санац А. Н. Влияние предварительной обработки импульсным электрическим полем на процесс сушки: обзор предметного поля // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2023. – № 2. – С. 44–71. – DOI: 10.36107/spfp.2023.418.
96. Assessment of the Effect of Air Humidity and Temperature on Convective Drying of Apple With Pulsed Electric Field Pretreatment / A. Matys, D. Witrowa-Rajchert, O. Parniakov, A. Wiktor // *LWT*. – 2023. – Vol. 188. – P. 115455. – DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115455.
97. Giancaterino M., Werl C., Jaeger H. Evaluation of the Quality and Stability of Freeze-Dried Fruits and Vegetables Pre-Treated by Pulsed Electric Fields (PEF) // *LWT*. – 2024. – Vol. 191. – P. 115651. – DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115651.
98. Ultrasound-Assisted Extraction of Anthocyanin From Black Rice Bran Using Natural Deep Eutectic Solvents: Optimization, Diffusivity, and Stability / R. Thakur, V. Gupta, P. Dhar [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2022. – Vol. 46, No. 3. – P. 1–10. – DOI: 10.1111/jfpp.16309.

99. *Effects of Ultrasound-Assisted Immersion Freezing on the Muscle Quality and Myofibrillar Protein Oxidation and Denaturation in Sciaenops ocellatus* / S. Qiu, F. Cui, J. Wang [et al.] // *Food Chemistry*. – 2022. – Vol. 377. – P. 131949. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131949.
100. *Non-Thermal Ultrasonic Contact Drying of Pea Protein Isolate Suspensions: Effects on Physicochemical and Functional Properties* / R. Kapoor, G. Karabulut, V. Mundada, H. Feng // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2023. – Vol. 253, No. P2. – P. 126816. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126816.
101. Çetin N., Sağlam C. *Effects of Ultrasound Pretreatment Assisted Drying Methods on Drying Characteristics, Physical and Bioactive Properties of Windfall Apples* // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2023. – Vol. 103, No. 2. – P. 534–547. – DOI: 10.1002/jsfa.12164.
102. Бурак Л. Ч., Санац А. Н. Влияние действия ультразвука на функциональные свойства растительных белков. Обзор предметного поля // *Химия растительного сырья*. – 2024. – № 4. – С. 5–23. – DOI: 10.14258/jcprm.20240413599.
103. Salehi F., Inanloodoghrouz M. *Effects of Gum-Based Coatings Combined With Ultrasonic Pretreatment Before Drying on Quality of Sour Cherries* // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2023. – Vol. 100. – P. 106633. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106633.
104. Karacabey E., Bardakçı M. S., Baltacıoğlu H. *Physical Pretreatments to Enhance Purple-Fleshed Potatoes Drying: Effects of Blanching, Ohmic Heating and Ultrasound Pretreatments on Quality Attributes* // *Potato Research*. – 2023. – Vol. 66, No. 4. – P. 1117–1142. – DOI: 10.1007/s11540-023-09618-8.
105. *Combined Effect of Airborne Ultrasound and Temperature on the Drying Kinetics and Quality Properties of Kiwifruit (Actinidia deliciosa)* / B. Llavata, A. Femenia, G. Clemente, J.A. Cárcel // *Food and Bioprocess Technology*. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – P. 440–451. – DOI: 10.1007/s11947-023-03138-6.
106. *Influence of Ultrasound and Ethanol as a Pretreatment on Papaya Infrared and Convective Drying Characteristics and Quality Parameters* / G. M. P. de Arruda, S. C. R. Brandão, E. V. da Silva Júnior [et al.] // *Journal of Food Process Engineering*. – 2023. – Vol. 46, No. 3. – P. 1–10. – DOI: 10.1111/jfpe.14255.
107. *Multi-Frequency Power Ultrasound as a Novel Approach Improves Intermediate-Wave Infrared Drying Process and Quality Attributes of Pineapple Slices* / B. Xu, E. S. Tiliwa, B. Wei [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2022. – Vol. 88. – P. 106083. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106083.
108. *Cold Plasma as an Emerging Energy-Saving Pretreatment to Enhance Food Drying: Recent Advances, Mechanisms Involved, and Considerations for Industrial Applications* / M. Gavahian, P. Nayi, K. Masztalerz [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. – 2024. – Vol. 143. – P. 104210. – DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104210.
109. *Cold Plasma as an Emerging Nonthermal Technology for Food Processing: A Comprehensive Review* / S. Harikrishna, P. P. Anil, R. Shams, K. K. Dash // *Journal of Agriculture and Food Research*. – 2023. – Vol. 14. – P. 100747. – DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100747.
110. Бурак Л. Ч., Санац А. Н., Завалей А. П. Влияние обработки холодной плазмой на качество и пищевую ценность растительного сырья. Обзор предметного поля // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2024. – Т. 14, № 2 (49). – С. 173–183. – DOI: 10.21285/achb.914.
111. Boateng I. D. *Recent Processing of Fruits and Vegetables Using Emerging Thermal and Non-Thermal Technologies. A Critical Review of Their Potentialities and Limitations on Bioactives, Structure, and Drying Performance* // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2024. – Vol. 64, No. 13. – P. 4240–4274. – DOI: 10.1080/10408398.2022.2140121.
112. *Effect of Cold Plasma Pretreatment on Drying Kinetics and Quality Attributes of Apple Slices in Refractance Window Drying* / K. Subrahmanyam, K. Gul, S. Paridala [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2024. – Vol. 92. – P. 103594. – DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103594.
113. *Cold Plasma: An Emerging Pretreatment Technology for the Drying of Jujube Slices* / T. Bao, X. Hao, M. R. I. Shishir [et al.] // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 337, No. 866. – P. 127783. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127783.
114. *Cold Plasma Enhances Drying and Color, Rehydration Ratio and Polyphenols of Wolfberry Via Microstructure and Ultrastructure Alteration* / Y.-H. Zhou, S. K. Vidyarthi, C.-S. Zhong [et al.] // *LWT*. – 2020. – Vol. 134. – P. 10173. – DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110173.
115. Бурак Л. Ч. Влияние технологии высокого давления на ферментативную активность фруктовых консервов // *Научное обозрение. Биологические науки*. – 2022. – № 4. – С. 63–73. – DOI: 10.17513/srbs.1296.

116. Yucel U., Alpas Y., Bayindirli A. Evaluation of High Pressure Pretreatment for Enhancing the Drying Rates of Carrot, Apple, and Green Bean // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – Vol. 98. – P. 266–272. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.006.
117. Influence of high hydrostatic pressure (HHP) pretreatment on plum (*Prunus salicina*) drying: Drying approach, physical, and morpho-structural properties of the powder and total phenolic compounds / N. C. Santos, R. L. J. Almeida, G. M. da Silva [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2022. – Vol. 46. – P. e16968. – DOI: 10.1111/jfpp.16968/
118. Influence of High Hydrostatic Pressure Pretreatment on Properties of Vacuum-Freeze Dried Strawberry Slices / L. Zhang, Y. Qiao, C. Wang [et al.] // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 331. – P. 127203. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127203.

REFERENCES

1. Burak L. Ch. *Vliyanie sovremennykh sposobov obrabotki i sterilizatsii na kachestvo plodoovoshchnogo syr'ya i sokovoj produkcii* (The impact of modern processing and sterilization methods on the quality of fruit and vegetable raw materials and juice products), Moscow: INFRA-M, 2025, 236 p., DOI: 10.12737/0.12737/2154991, ISBN: 978-5-16-020036-1.
2. Burak L. Ch. *Health, Food & Biotechnology*, 2025, Vol. 7, No. (2), pp. 41–75, DOI: 10.36107/hfb.2025.i2.s258.
3. Harris J., de Steenhuijsen Piers B., McMullin S. et al. Fruits and Vegetables for Healthy Diets: Priorities for Food System Research and Action, *Science and Innovations for Food Systems Transformation*, Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2023, P. 87–104, DOI: 10.1007/978-3-031-15703-5_6.
4. Morais R. M. S. C., Morais A. M. M. B., Dammak I. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation, *Journal of Food Quality*, 2018, Vol. 3, P. 1–29, DOI: 10.1155/2018/1739636.
5. Karwacka M., Ciurzyńska A., Galus S., Janowicz M. The Effect of Storage Time and Temperature on Quality Changes in Freeze-Dried Snacks Obtained With Fruit Pomace and Pectin Powders as a Sustainable Approach for New Product Development, *Sustainability*, 2024, Vol. 16, No. 11, P. 4736, DOI: 10.3390/su16114736.
6. Nowacka M., Mannozi C., Dalla Rosa M., Tylewicz U. Sustainable Approach for Development Dried Snack Based on *Actinidia deliciosa* Kiwifruit, *Applied Sciences*, 2023, V. 13, No. 4, P. 2189, DOI: 10.3390/app13042189.
7. Rybicka I., Kiewlicz J., Kowalczewski P. Ł., Gliszczynska-Świgło A. Selected Dried Fruits as a Source of Nutrients, *European Food Research and Technology*, 2021, Vol. 247, No. 10, P. 2409–2419, DOI: 10.1007/s00217-021-03802-1.
8. Burak L. Ch. *Vestnik MGTU*, 2025, Vol. 28, No. 2, pp. 273–295, DOI: 10.21443/1560-9278-2025-28-2-273-295. (In Russ.)
9. Fu H., Lee C. H., Nolden A. A., Kinchla A. J. Nutrient Density, Added Sugar, and Fiber Content of Commercially Available Fruit Snacks in the United States From 2017 to 2022, *Nutrients*, 2024, Vol. 16, No. 2, P. 292, DOI: 10.3390/nu16020292.
10. Burak L. Ch. *Polzunovskij vestnik*, 2024, No. 1, pp. 99–119, DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013. (In Russ.)
11. Omel'ko V. A. *Sovremennye problemy gigieny, radiacionnoj i ekologicheskoy mediciny*, 2023, Vol. 13, No. S1, pp. 128–133. (In Russ.)
12. Makarenkova O. G., Shevyakova L. V., Bessonov V. V., *Voprosy pitaniya*, 2015, Vol. 84, No. S5, P. 51.
13. Nowacka M., Kowalska H., Tylewicz U. et al. Emerging Technologies in Dried Fruit Snacks: Nutritional Enrichment and Sustainable Production, *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2025, Vol. 24 (4), P. e70225, DOI: 10.1111/1541-4337.70225.
14. Chobot M., Kozłowska M., Ignaczak A., Kowalska H. Development of Drying and Roasting Processes for the Production of Plant-Based Pro-Healthy Snacks in the Light of Nutritional Trends and Sustainable Techniques, *Trends in Food Science & Technology*, 2024, Vol. 149 (18), P. 104553, DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104553.

15. Ciurzyńska A., Cieśluk P., Barwińska M. et al. Eating Habits and Sustainable Food Production in the Development of Innovative “Healthy Snacks”, *Sustainability*, 2019, Vol. 11, No. 10, P. 2800, DOI: 10.3390/su11102800.
16. Alvarez M. V., Bambace M. F., Quintana G. et al. Prebiotic-Alginate Edible Coating on Fresh-Cut Apple as a New Carrier for Probiotic Lactobacilli and Bifidobacteria, *LWT*, 2021, Vol. 137, P. 110483, DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110483.
17. Radojčin M., Pavkov I., Bursać Kovačević D. et al. Effect of Selected Drying Methods and Emerging Drying Intensification Technologies on the Quality of Dried Fruit: A Review, *Processes*, 2021, Vol. 9, No. 1, P. 132, DOI: 10.3390/pr9010132.
18. Castagnini J. M., Tappi S., Tylewicz U. et al. Sustainable Development of Apple Snack Formulated With Blueberry Juice and Trehalose, *Sustainability*, 2021, Vol. 13, No. 16, P. 9204, DOI: 10.3390/su13169204.
19. Derossi A., Ricci I., Fiore Ricci A. G., Severini C. Apple Slices Enriched With Aloe vera by Vacuum Impregnation, *Italian Journal of Food Science*, 2018, Vol. 30, No. 2, P. 256–267, DOI: 10.14674/IJFS-939.
20. Radziejewska-Kubzdela E., Szadzińska J., Biegańska-Marecik R. et al. Effect of Ultrasound on Mass Transfer During Vacuum Impregnation and Selected Quality Parameters of Products: A Case Study of Carrots, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, Vol. 99, No. 9, P. 106592, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106592.
21. Kaveh M., Nowacka M., Khalife E. et al. Hawthorn Drying: An Exploration of Ultrasound Treatment and Microwave–Hot Air Drying, *Processes*, 2023, Vol. 11, No. 4, P. 978, DOI: 10.3390/pr11040978.
22. Özbek H. N., Koç B., Koçak Yanık D., Göğüş F. Hot Air-Assisted Radiofrequency Drying of Avocado: Drying Behavior and the Associated Effect on the Characteristics of Avocado Powder, *Journal of Food Process Engineering*, 2022, Vol. 45, No. 9, P. 1–11, DOI: 10.1111/jfpe.14094.
23. Souza A. U. D., Corrêa J. L. G., Tanikawa D. H. et al. Hybrid Microwave-Hot Air Drying of the Osmotically Treated Carrots, *LWT*, 2022, Vol. 156, P. 113046, DOI: 10.1016/j.lwt.2021.113046.
24. Blicharz-Kania A., Vasiukov K., Sagan A. et al. Nutritional Value, Physical Properties, and Sensory Quality of Sugar-Free Cereal Bars Fortified With Grape and Apple Pomace, *Applied Sciences*, 2023, Vol. 13, No. 18, P. 10531, DOI: 10.3390/app131810531.
25. Raleng A., Singh N. G. J., Chavan P., Attkan A. K. Opportunities in Valorisation of Industrial Food Waste Into Extruded Snack Products – A Review, *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, Vol. 92, No. 10, P. 1167–1174, DOI: 10.56093/ijas.v92i10.113487.
26. Burak L. Ch., Egorova Z. E., *Sciences of Europe*, 2024, No. 152, pp. 13–21, DOI: 10.5281/zenodo.14063716.
27. Salari S., Castiglione T., Ferreira J. et al. Development of Healthy and Clean-Label Crackers Incorporating Apple and Carrot Pomace Flours, *Sustainability*, 2024, Vol. 16, No. 14, P. 5995, DOI: 10.3390/su16145995.
28. Vinod B. R., Asrey R., Sethi S. et al. Recent advances in vacuum impregnation of fruits and vegetables processing: A concise review, *Heliyon*, 2024, Vol. 10, P. e28023, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28023.
29. Saleena P., Jayashree E., Anees K. A. Comprehensive Review on Vacuum Impregnation: Mechanism, Applications and Prospects, *Food and Bioprocess Technology*, 2024, Vol. 17, No. 6, P. 1434–1447, DOI: 10.1007/s11947-023-03185-z.
30. Panayampadan A. S., Alam M. S., Aslam R., Kaur J. Vacuum Impregnation Process and Its Potential in Modifying Sensory, Physicochemical and Nutritive Characteristics of Food Products, *Food Engineering Reviews*, 2022, Vol. 14, No. 2, P. 229–256, DOI: 10.1007/s12393-022-09312-4.
31. Thomas B., Puliserry S. K., Sankalpa K. B. et al. Optimization and Modeling of Vacuum Impregnation of Pineapple Rings and Comparison With Osmotic Dehydration, *Journal of Food Science*, 2024, Vol. 89, No. 1, P. 494–512, DOI: 10.1111/1750-3841.16875.
32. Mierzwa D., Szadzińska J., Gapiński B. et al. Assessment of Ultrasound-Assisted Vacuum Impregnation as a Method for Modifying Cranberries’ Quality, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022, Vol. 89, P. 106117, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106117.
33. Mierzwa D., Szadzińska J., Radziejewska-Kubzdela E. et al. Effectiveness of Cranberry (*Vaccinium macrocarpon*, cv. Pilgrim) Vacuum Impregnation: The Effect of Sample Pretreatment, Pressure, and Processing Time, *Food and Bioprocess Technology*, 2022, Vol. 134, P. 223234, DOI: 10.1016/j.fbp.2022.06.001.
34. Pizarro-Oteiza S., Giovagnoli-Vicuña C., Briones-Labarca V., Salazar F. Effects of Optimized Osmotic Vacuum Impregnation on Quality Properties of Red Abalone (*Haliotis rufescens*) Drying, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2023, Vol. 17, No. 5, P. 4520–4529, DOI: 10.1007/s11694-023-01987-5.

35. Sittisuanjik K., Chottanom P., Moongngarm A., Deeseenthum S. Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration on Physiological Compound Enrichment of Model Food, *Journal of Sustainability Science and Management*, 2021, Vol. 16, No. 2, P. 38–52, DOI: 10.46754/jssm.2021.02.006.
36. Wang X., Kahraman O., Feng H. Impregnation-Mediated Natural Fortification of Sliced Apples With Hypertonic Fruit Juices: Mass Transfer Kinetics and Product Quality, *2021 ASABE Annual International Virtual Meeting (July 12–16, 2021)*, 2021, Pap. 2100758, DOI: 10.13031/aim.202100758.
37. Derossi A., Francavilla M., Monteleone M. et al. From Biorefinery of Microalgal Biomass to Vacuum Impregnation of Fruit. A Multidisciplinary Strategy to Develop Innovative Food With Increased Nutritional Properties, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021, Vol. 70, P. 102677, DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102677.
38. Assis F. R., Rodrigues L. G. G., Tribuzi G. et al. Fortified Apple (*Malus* spp., var. Fuji) Snacks by Vacuum Impregnation of Calcium Lactate and Convective Drying, *LWT*, 2019, Vol. 113, P. 108298, DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108298.
39. Betoret E., Betoret N., Calabuig-Jiménez L. et al. Probiotic Survival and In Vitro Digestion of *L. salivarius* Spp. *Salivarius* Encapsulated by High Homogenization Pressures and Incorporated Into a Fruit Matrix, *LWT*, 2019, Vol. 111, P. 883888, DOI: 10.1016/j.lwt.2019.05.088.
40. De Oliveira P. M., Ramos A. M., Martins E. M. F. et al. Comparison of Vacuum Impregnation and Soaking Techniques for Addition of the Probiotic *Lactobacillus acidophilus* to Minimally Processed Melon, *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, Vol. 52, No. 12, P. 2547–2554, DOI: 10.1111/ijfs.13540.
41. González-Pérez J. E., Ramírez-Corona N., López-Malo A. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: Process Factors and Non-Thermal Methods, *Food Engineering Reviews*, 2021, Vol. 13, No. 2, P. 344374, DOI: 10.1007/s12393-020-09276-3.
42. Santarelli V., Neri L., Moscetti R. et al. Combined Use of Blanching and Vacuum Impregnation With Trehalose and Green Tea Extract as Pre-Treatment to Improve the Quality and Stability of Frozen Carrots, *Food and Bioprocess Technology*, 2021, Vol. 14, No. 7, P. 1326–1340, DOI: 10.1007/s11947-021-02637-8.
43. Yilmaz F. M., Ersus Bilek S. Natural Colorant Enrichment of Apple Tissue With Black Carrot Concentrate Using Vacuum Impregnation, *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, Vol. 52, No. 6, P. 15081516, DOI: 10.1111/ijfs.13426.
44. Santana Moreira M., De Almeida Paula D., Furtado Martins E. M. et al. Vacuum Impregnation of β -Carotene and Lutein in Minimally Processed Fruit Salad, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, Vol. 42, No. 3, P. e13545, DOI: 10.1111/jfpp.13545.
45. Demir E., Dymek K., Galindo F. G. Technology Allowing Baby Spinach Leaves to Acquire Freezing Tolerance, *Food and Bioprocess Technology*, 2018, Vol. 11, No. 4, P. 809–817, DOI: 10.1007/s11947-017-2044-7.
46. Nyoto I. C., Gómez Galindo F. A. Comparison Between Pulsed Electric Field and Moderate Electric Field for Their Effectiveness in Improving the Freezing Tolerance of Rocket Leaves, *Biochemistry and Biophysics Reports*, 2023, Vol. 35, P.101515, DOI: 10.1016/j.bbrep.2023.101515.
47. Velickova E., Tylewicz U., Dalla Rosa M. et al. Effect of Pulsed Electric Field Coupled With Vacuum Infusion on Quality Parameters of Frozen/Thawed Strawberries, *Journal of Food Engineering*, 2018, Vol. 233, P 57–64, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.030.
48. Mashkour M., Maghsoudlou Y., Kashaninejad M., Aalami M. Iron Fortification of Whole Potato Using Vacuum Impregnation Technique With a Pulsed Electric Field Pretreatment, *Potato Research*, 2018, Vol. 61, No. 4, P. 375389, DOI: 10.1007/s11540-018-9392-1.
49. Trusinska M., Drudi F., Rybak K. et al. Effect of the Pulsed Electric Field Treatment on Physical, Chemical and Structural Changes of Vacuum Impregnated Apple Tissue in Aloe vera Juices, *Foods*, 2023, Vol. 12, No. 21, P. 3957, DOI: 10.3390/foods12213957.
50. De Soares A. S., Ramos A. M., Vieira É. N. R. et al. Vacuum Impregnation of Chitosan-Based Edible Coating in Minimally Processed Pumpkin, *International Journal of Food Science & Technology*, 2018, Vol. 53, No. 9, P. 2229–2238, DOI: 10.1111/ijfs.13811.
51. Senturk Parreidt T., Müller K., Schmid M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications, *Foods*, 2018, Vol. 7, No. 10, P. 170, DOI: 10.3390/foods7100170.

52. Lech K., Figiel A., Michalska A. et al. The Effect of Selected Fruit Juice Concentrates Used as Osmotic Agents on the Drying Kinetics and Chemical Properties of Vacuum-Microwave Drying of Pumpkin, *Journal of Food Quality*, 2018, P. 1–11, DOI: 10.1155/2018/7293932, ISBN: 1745-4557.
53. Machneva I. A., Droficheva N. V., Prichko T. G., *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*, 2021, No. 70 (4), pp. 269–296, DOI: 10.30679/2219-5335-2021-4-70-269-296. (In Russ.)
54. Kowalska H., Marzec A., Domian E. et al. Edible Coatings as Osmotic Dehydration Pretreatment in Nutrient-Enhanced Fruit or Vegetable Snacks Development: A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, Vol. 20, No. 6, P. 5641–5674, DOI: 10.1111/1541-4337.12837.
55. Ahmed I., Qazi I. M., Jamal S. Developments in Osmotic Dehydration Technique for the Preservation of Fruits and Vegetables, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, Vol. 34, P. 29–43, DOI: 10.1016/j.ifset.2016.01.003.
56. Çağlayan D., Mazi B. I. Effects of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration as a Pretreatment and Finish Drying Methods on the Quality of Pumpkin Slices, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, Vol. 42, No. 9, P. e13679, DOI: 10.1111/jfpp.13679.
57. Burak L. Ch., Sapach A. N., *Pishchevye sistemy*, 2023, Vol. 6, No. 1, pp. 80–94, DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94. (In Russ.)
58. Saleena P., Jayashree E., Anees K. Recent Developments in Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: A Review, *Pharma Innovation*, 2022, Vol. 11, No. 2, P. 40–50.
59. Masztalerz K., Figiel A., Michalska-Ciechanowska A. et al. The Effect of Filtration on Physical and Chemical Properties of Osmo-Dehydrated Material, *Molecules*, 2020, Vol. 25, No. 22, P. 5412, DOI: 10.3390/molecules25225412.
60. Nowicka P., Wojdyło A., Lech K., Figiel A. Influence of Osmodehydration Pretreatment and Combined Drying Method on the Bioactive Potential of Sour Cherry Fruits, *Food and Bioprocess Technology*, 2015, Vol. 8, No. 4, P. 824836, DOI: 10.1007/s11947-014-1447-y.
61. Figiel A., Michalska A. Overall Quality of Fruits and Vegetables Products Affected by the Drying Processes With the Assistance of Vacuum-Microwaves, *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, Vol. 18, No. 1, P. 71, DOI: 10.3390/ijms18010071.
62. Assis F. R., Morais R. M. S. C., Morais A. M. M. B. Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison between Mathematical Models, *Food Engineering Reviews*, 2016, Vol. 8, No. 2, P. 116–133, DOI: 10.1007/s12393-015-9123-1.
63. Mari A., Parisouli D. N., Krokida M. Exploring Osmotic Dehydration for Food Preservation: Methods, Modelling, and Modern Applications, *Foods*, 2024, Vol. 13, No. 17, P. 2783, DOI: 10.3390/foods13172783.
64. Wang X., Feng H. Pea Protein Isolate and Inulin as Plant-Based Biomacromolecules for Reduction of Sugar Uptake in Osmotic Dehydration, *Journal of Food Process Engineering*, 2023, Vol. 46, No. 9, P. 1–10, DOI: 10.1111/jfpe.14417.
65. Wang F., Bi J., Lyu M., Lyu J. Insight Into the Effect of Osmosis Agents on Macro- and Micro- Texture, Water Distribution, and Thermal Stability of Instant Controlled Pressure Drop Drying Peach Chips, *Food Chemistry*, 2024, Vol. 440, P. 138236, DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138236.
66. Mohd Fadi I. N., Wan Mokhtar W. M. F., Wan Mohamad W. A. F., Ismail I. Impact of Using Alternative Sweetener as Osmotic Agent on Mass Transfer, Colour and Texture Properties during Dip Dehydration of Apple Slice, *Journal of Agrobiotechnology*, 2021, Vol. 12, No. 1S, P. 74–82, DOI: 10.37231/jab.2021.12.1S.272.
67. Wang X., Kapoor R., Feng H. Exploring the Effects of Vacuum and Ultrasound Treatments on Calcium Fortification in Osmotically Dehydrated Apple Slices, *LWT*, 2023, Vol. 187, P. 115386, DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115386.
68. Katsouli M., Dermesonlouoglou E., Dimopoulos G. et al. Shelf-Life Enhancement Applying Pulsed Electric Field and High-Pressure Treatments Prior to Osmotic Dehydration of Fresh-Cut Potatoes, *Foods*, 2024, Vol. 13, No. 1, P. 171, DOI: 10.3390/foods13010171.
69. Rascón M. P., Huerta-Vera K., Pascual-Pineda L. A. et al. Osmotic Dehydration Assisted Impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* in Banana and Effect of Water Activity on the Storage Stability of Probiotic in the Freeze-dried Product, *LWT*, 2018, Vol. 92, P. 490–496, DOI: 10.1016/j.lwt.2018.02.074.

70. Kowalska H., Marzec A., Kowalska J. et al. Osmotic Dehydration of Honeoye Strawberries in Solutions Enriched With Natural Bioactive Molecules, *LWT, Food Science and Technology*, 2017, Vol. 85, P. 500–505, DOI: 10.1016/j.lwt.2017.03.044.
71. Lech K., Michalska A., Wojdyło A. et al. The Influence of Physical Properties of Selected Plant Materials on the Process of Osmotic Dehydration, *LWT*, 2018, Vol. 91, P. 588–594, DOI: 10.1016/j.lwt.2018.02.012.
72. Macedo L. L., Corrêa J. L. G., Petri Júnior I. et al. Intermittent Microwave Drying and Heated Air Drying of Fresh and Isomaltulose (Palatinose) Impregnated Strawberry, *LWT*, 2022, Vol. 155, P. 112918, DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112918.
73. Sethi K., Kaur M. Effect of Osmotic Dehydration on Physicochemical Properties of Pineapple Using Honey, Sucrose and Honey-Sucrose Solutions, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019, Vol. 9, No. 1, P. 6257–6262, DOI: 10.35940/ijeat.A2026.109119.
74. Liu Z.-L., Staniszevska I., Zielinska D. et al. Combined Hot Air and Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Effects of Pretreatments and Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration on Drying Kinetics and Physicochemical Properties, *Food and Bioprocess Technology*, 2020, Vol. 13, No. 10, P. 1848–1856, DOI: 10.1007/s11947-020-02507-9.
75. Asghari A., Zongo P. A., Osse E. F. et al. Review of Osmotic Dehydration: Promising Technologies for Enhancing Products' Attributes, Opportunities, and Challenges for the Food Industries, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2024, Vol. 23, No. 3, P. 128, DOI: 10.1111/1541-4337.13346.
76. Şahin U., Öztürk H. K. Effects of Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration (PVOD) on Drying Kinetics of Figs (*Ficus carica* L.), *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, Vol. 36, P. 104–111, DOI: 10.1016/j.ifset.2016.06.003.
77. Sakooei-Vayghan R., Peighambardoust S. H., Hesari J., Peressini D. Effects of Osmotic Dehydration (With and Without Sonication) and Pectin-Based Coating Pretreatments on Functional Properties and Color of Hot-Air Dried Apricot Cubes, *Food Chemistry*, 2020, Vol. 311, P. 125978, DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125978.
78. Salehi F., Cheraghi R., Rasouli M. Mass Transfer Analysis and Kinetic Modeling of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Kiwifruit Slices, *Scientific Reports*, 2023, Vol. 13, No. 1, P. 11859, DOI: 10.1038/s41598-023-39146-x.
79. Oliveira G., Tylewicz U., Dalla Rosa M. et al. Effects of Pulsed Electric Field-Assisted Osmotic Dehydration and Edible Coating on the Recovery of Anthocyanins From In Vitro Digested Berries, *Foods*, 2019, Vol. 8, No. 10, P. 505, DOI: 10.3390/foods8100505.
80. Liu Y., Zeng Y., Wang Q. et al. Drying Characteristics, Microstructure, Glass Transition Temperature, and Quality of Ultrasound-Strengthened Hot Air Drying on Pear Slices, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, Vol. 43, No. 3, P. e13899, DOI: 10.1111/jfpp.13899.
81. Nuñez-Mancilla Y., Pérez-Won M., Uribe E. et al. Osmotic Dehydration Under High Hydrostatic Pressure: Effects on Antioxidant Activity, Total Phenolics Compounds, Vitamin C and Col of Strawberry (*Fragaria vesca*), *LWT – Food Science and Technology*, 2013, Vol. 52, No. 2, P. 151–156, DOI: 10.1016/j.lwt.2012.02.027.
82. Araya-Farias M., Macaigne O., Ratti C. On the Development of Osmotically Dehydrated Seabuckthorn Fruits: Pretreatments, Osmotic Dehydration, Postdrying Techniques, and Nutritional Quality, *Drying Technology*, 2014, Vol. 32, No. 7, P. 813–819, DOI: 10.1080/07373937.2013.866143.
83. Rodriguez A., Soteras M., Campañone L. Review: Effect of the Combined Application of Edible Coatings and Osmotic Dehydration on the Performance of the Process and the Quality of Pear Cubes, *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, Vol. 56, No. 12, P. 6474–6483, DOI: 10.1111/ijfs.15357.
84. Etemadi A., Alizadeh R., Sirousazar M. The Influence of Natural Basil Seed Gum Coats on the Kinetics of Osmotic Dehydration of Apple Rings, *Food and Bioprocess Technology*, 2020, Vol. 13, No. 9, P. 1505–1515, DOI: 10.1007/s11947-020-02492-z.
85. An K., Tang D., Wu J. et al. Comparison of Pulsed Vacuum and Ultrasound Osmotic Dehydration on Drying of Chinese Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Drying Characteristics, Antioxidant Capacity, and Volatile Profiles, *Food Science & Nutrition*, 2019, Vol. 7, No. 8, P. 2537–2545, DOI: 10.1002/fsn3.1103.
86. George J. M., Senthamizh Selvan T., Rastogi N. K. High-Pressure-Assisted Infusion of Bioactive Compounds in Apple Slices, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, Vol. 33, P. 100–107, DOI: 10.1016/j.ifset.2015.11.010.

87. Wang B., Li Y., Lv Y. et al. Dehydration – rehydration Mechanism of Vegetables at the Cell-Wall and Cell-Membrane Levels and Future Research Challenges, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, Vol. 64, No. 30, P. 11179–11195, DOI: 10.1080/10408398.2023.2233620.
88. Obajemihi O. I., Cheng J.-H., Sun D.-W. Enhancing Moisture Transfer and Quality Attributes of Tomato Slices Through Synergistic Cold Plasma and Osmodehydration Pretreatments During Infrared-Assisted Pulsed Vacuum Drying, *Journal of Food Engineering*, 2025, Vol. 387, P. 112335, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2024.112335.
89. Mohammadkhani M., Koocheki A., Mohebbi M. Effect of *Lepidium perfoliatum* Seed Gum – Oleic Acid Emulsion Coating on Osmotic Dehydration and Subsequent Air-Drying of Apple Cubes, *Progress in Organic Coatings*, 2024, Vol. 186, P. 107986, DOI: 10.1016/j.porgcoat.2023.107986.
90. Burak L. Ch., Zavalej A. P., *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv*, 2024, Vol. 54, No. 2, pp. 342–357, DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510. (In Russ.)
91. Kazub V. T., Koshkarova A. G., *Promyshlennyye processy i tekhnologii*, 2022, Vol. 2, No. 3, pp. 40–46, DOI 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-40-46. (In Russ.)
92. Thongkong S., Yawootti A., Klangpetch W. et al. A Novel Application of Pulsed Electric Field as a Key Process for Quick-Cooking Rice Production, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2023, Vol. 90, P. 103494, DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103494.
93. Burak L. Ch. *Sovremennyye metody obrabotki i konservirovaniya plodoovoshchnogo syr'ya* (Modern methods of processing and preserving fruit and vegetable raw materials), St. Petersburg: Lan', 2024, 488 p.
94. Cavalcanti R. N., Balthazar C. F., Margalho L. P. et al. Pulsed Electric Field-Based Technology for Microbial Inactivation in Milk and Dairy Products, *Current Opinion in Food Science*, 2023, Vol. 54, P. 101087, DOI: 10.1016/j.cofs.2023.101087.
95. Burak L. Ch., Sapach A. N., *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya*, 2023, No. 2, pp. 44–71, DOI: 10.36107/spfp.2023.418. (In Russ.)
96. Matys A., Witrowa-Rajchert D., Parniakov O., Wiktor A. Assessment of the Effect of Air Humidity and Temperature on Convective Drying of Apple With Pulsed Electric Field Pretreatment, *LWT*, 2023, Vol. 188, P. 115455, DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115455.
97. Giancaterino M., Werl C., Jaeger H. Evaluation of the Quality and Stability of Freeze-Dried Fruits and Vegetables Pre-Treated by Pulsed Electric Fields (PEF), *LWT*, 2024, Vol. 191, P. 115651, DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115651.
98. Thakur R., Gupta V., Dhar P. et al. Ultrasound-Assisted Extraction of Anthocyanin From Black Rice Bran Using Natural Deep Eutectic Solvents: Optimization, Diffusivity, and Stability, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, Vol. 46, No. 3, P. 1–10, DOI: 10.1111/jfpp.16309.
99. Qiu S., Cui F., Wang J. et al. Effects of Ultrasound-Assisted Immersion Freezing on the Muscle Quality and Myofibrillar Protein Oxidation and Denaturation in *Sciaenops ocellatus*, *Food Chemistry*, 2022, Vol. 377, P. 131949, DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131949.
100. Kapoor R., Karabulut G., Mundada V., Feng H. Non-Thermal Ultrasonic Contact Drying of Pea Protein Isolate Suspensions: Effects on Physicochemical and Functional Properties, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, Vol. 253, No. P2, P. 126816, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126816.
101. Çetin N., Sağlam C. Effects of Ultrasound Pretreatment Assisted Drying Methods on Drying Characteristics, Physical and Bioactive Properties of Windfall Apples, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2023, Vol. 103, No. 2, P. 534–547, DOI: 10.1002/jsfa.12164.
102. Burak L. Ch., Sapach A. N. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, 2024, No. 4, pp. 5–23, DOI: 10.14258/jcprm.20240413599. (In Russ.)
103. Salehi F., Inanloodoghous M. Effects of Gum-Based Coatings Combined With Ultrasonic Pretreatment Before Drying on Quality of Sour Cherries, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2023, Vol. 100, P. 106633, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106633.
104. Karacabey E., Bardakçı M. S., Baltacıoğlu H. Physical Pretreatments to Enhance Purple-Fleshed Potatoes Drying: Effects of Blanching, Ohmic Heating and Ultrasound Pretreatments on Quality Attributes, *Potato Research*, 2023, Vol. 66, No. 4, P. 1117–1142, DOI: 10.1007/s11540-023-09618-8.
105. Llavata B., Femenia A., Clemente G., Cárcel J. A. Combined Effect of Airborne Ultrasound and Temperature on the Drying Kinetics and Quality Properties of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*), *Food and Bioprocess Technology*, 2024, Vol. 17, No. 2, P. 440–451, DOI: 10.1007/s11947-023-03138-6.

106. De Arruda G. M. P., Brandão S. C. R., Da Silva Júnior E. V. et al. Influence of Ultrasound and Ethanol as a Pretreatment on Papaya Infrared and Convective Drying Characteristics and Quality Parameters, *Journal of Food Process Engineering*, 2023, Vol. 46, No. 3, P. 1–10, DOI: 10.1111/jfpe.14255.
107. Xu B., Tiliwa E. S., Wei B. et al. Multi-Frequency Power Ultrasound as a Novel Approach Improves Intermediate-Wave Infrared Drying Process and Quality Attributes of Pineapple Slices, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022, Vol. 88, P. 106083, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106083.
108. Gavahian M., Nayi P., Masztalerz K. et al. Cold Plasma as an Emerging Energy-Saving Pretreatment to Enhance Food Drying: Recent Advances, Mechanisms Involved, and Considerations for Industrial Applications, *Trends in Food Science & Technology*, 2024, Vol. 143, P. 104210, DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104210.
109. Harikrishna S., Anil P. P., Shams R., Dash K. K. Cold Plasma as an Emerging Nonthermal Technology for Food Processing: A Comprehensive Review, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, Vol. 14, P. 100747, DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100747.
110. Burak L. Ch., Sapach A. N., Zavalej A. P., *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*, 2024, vol. 14, No. 2 (49), pp. 173–183, DOI: 10.21285/achb.914. (In Russ.)
111. Boateng I. D. Recent Processing of Fruits and Vegetables Using Emerging Thermal and Non-Thermal Technologies. A Critical Review of Their Potentialities and Limitations on Bioactives, Structure, and Drying Performance, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, Vol. 64, No. 13, P. 4240–4274, DOI: 10.1080/10408398.2022.2140121.
112. Subrahmanyam K., Gul K., Paridala S. et al. Effect of Cold Plasma Pretreatment on Drying Kinetics and Quality Attributes of Apple Slices in Refractance Window Drying, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2024, Vol. 92, P. 103594, DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103594.
113. Bao T., Hao X., Shishir M. R. I. et al. Cold Plasma: An Emerging Pretreatment Technology for the Drying of Jujube Slices, *Food Chemistry*, 2021, Vol. 337, No. 866, P. 127783, DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127783.
114. Zhou Y.-H., Vidyarthi S. K., Zhong C.-S. et al. Cold Plasma Enhances Drying and Color, Rehydration Ratio and Polyphenols of Wolfberry Via Microstructure and Ultrastructure Alteration, *LWT*, 2020, Vol. 134, P. 10173, DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110173.
115. Burak L. Ch. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*, 2022, No. 4, pp. 63–73, DOI: 10.17513/srbs.1296. (In Russ.)
116. Yucel U., Alpas Y., Bayindirli A. Evaluation of High Pressure Pretreatment for Enhancing the Drying Rates of Carrot, Apple, and Green Bean, *Journal of Food Engineering*, 2010, Vol. 98, P. 266–272, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.006.
117. Santos N. C., Almeida R. L. J., Da Silva G. M. et al. Influence of high hydrostatic pressure (HHP) pretreatment on plum (*Prunus salicina*) drying: Drying approach, physical, and morpho-structural properties of the powder and total phenolic compounds, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, Vol. 46, P. e16968, DOI: 10.1111/jfpp.16968/
118. Zhang L., Qiao Y., Wang C. et al. Influence of High Hydrostatic Pressure Pretreatment on Properties of Vacuum-Freeze Dried Strawberry Slices, *Food Chemistry*, 2020, Vol. 331, P. 127203, DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127203.