УДК 664. 87: 621.311.243

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛОДООВОЩНЫХ КРИОПОРОШКОВ

♦♦♦♦♦

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF FRUIT AND VEGETABLE CRYOPOWDERS

Ахмедов Магомед Эминович
доктор технических наук, профессор,
Дагестанский государственный
технический университет
akhmag49@mail.ru

Яралиева Зоя Алиевна
кандидат технических наук, доцент,
Дагестанский государственный
технический университет
alievna5656@mail.ru

Касьянов Геннадий Иванович
доктор технических наук, профессор,
Кубанский государственный
технологический университет
g_kasjanov@mail.ru

Шило Никита Михайлович
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
thombatle@gmail.ru

Аннотация. В статье проанализированы недостатки и положительные стороны существующих технологических приемов подготовки плодов и овощей для получения порошкообразных продуктов. Сконцентрировано внимание на разработке новых физических принципов подготовки сырья – гелиосушки и вакуумного обезвоживания в среде инертного газа. Предложены режимы криоизмельчения сырья до наноуровневого размера. Объектами исследования служило плодовое и овощное сырье, выращенное в Дагестане и Краснодарском крае. В работе использованы традиционные и новые методы исследования качественного состава агропищевого сырья и готовой продукции, методы математической статистики и критерия Стьюдента. Пищевую и биологическую ценность объектов исследования определяли по действующим стандартным методикам, с учетом требований Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011. Изучение химсостава продуктов питания осуществляли на приборах Испытательного центра контроля качества сырья и пищевых продуктов КубГТУ. Разработана структурная схема производства растительных плодово-ягодных порошков в среде газообразного и жидкого азота.

Ключевые слова: плоды, овощи, жидкий азот, удаление влаги, криопорошки, химический состав, дисперсность.

Akhmedov Magomed Eminovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Dagestan State Technical University
akhmag49@mail.ru

Yaralieva Zoya Alievna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Dagestan State Technical University
alievna5656@mail.ru

Kasyanov Gennady Ivanovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kuban StateTechnological University
g_kasjanov@mail.ru

Shilo Nikita Mikhailovich
Student,
Kuban StateTechnological University
thombatle@gmail.ru

Annotation. The article analyzes the disadvantages and advantages of existing technological methods for preparing fruits and vegetables to obtain powdered products. Attention is focused on the development of new physical principles for preparing raw materials – heliodrying and vacuum dehydration in an inert gas environment. Modes of cryogenic grinding of raw materials to a nanoscale size are proposed. The objects of the study were fruit and vegetable raw materials grown in Dagestan and the Krasnodar Territory. The work used traditional and new methods for studying the qualitative composition of agro-food raw materials and finished products, methods of mathematical statistics and the Student criterion. The nutritional and biological value of the objects of study was determined according to current standard methods, taking into account the requirements of the Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011. The study of the chemical composition of food products was carried out on the devices of the Testing Center for Quality Control of Raw Materials and Food Products of KubSTU. A structural diagram of the production of vegetable fruit and berry powders in a gaseous and liquid nitrogen environment has been developed.

Keywords: fruits, vegetables, liquid nitrogen, moisture removal, cryopowders, chemical composition, dispersion.

Введение. Анализ научно-технической информации по получению и применению растительных порошков в качестве биокорректоров состава пищевых продуктов позволил выявить положительные и отрицательные стороны существующих способов. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования гелиосушилки с теплоаккумулятором [1]. В работе по оценке качества порошков показано, как влияют антимикробные свойства порошков из малины, свеклы, шпината и яблок, на микробиологическое состояние кондитерских изделий [2]. Разработан биокаталитический способ переработки ягод с использованием пектолитических и глюкоанолитических ферментов [3]. Такой способ позволяет достичь высокой сохранности антиоксидантов сырья при хранении в течение 9 мес.

В порошке из плодов сублимированной облепихи крушиновидной определено содержание аминокислот, антоцианов, дубильных веществ, каротиноидов и флавоноидов [4]. Определены качественные показатели и пищевая ценность пищевой добавки из облепихи. Несмотря на высокую пищевую и биологическую ценность облепихового порошка, способ сублимационной сушки значительно повышает его себестоимость.

Выяснено, что качество порошкообразных пищевых добавок во многом зависит от степени измельчения [5]. Для сверхтонкого измельчения частиц растительного сырья используют двухступенчатую вакуумную установку, дисковый измельчитель и шаровую мельницу. Несмотря на достигаемую дисперсность порошка, применяемое для этих целей сложное оборудование повышает себестоимость продукции. Для коррекции состава сдобного печенья использованы трансформируемые в порошки виноград, лук, морковь и свеклу [6]. Это позволило увеличить содержание в продукте белка, пищевых волокон, макро и микроэлементов, улучшить органолептические показатели.

Развитие мембранных технологий способствовало получению азота из воздуха [7]. Это нововведение позволило снизить себестоимость жидкого азота, как основного агента получения криопорошков.

К высокобелковым обогатителям пищевых продуктов относятся порошки из семян льна, природное соотношение аминокислот в котором обладает биологической активностью [8]. Кроме полноценной белковой добавки из семян льна получен полисахаридный экстракт, имеющий высокие функционально-технологические свойства. В состав композитных смесей для теста включены порошки из бананов, крапивы, моркови и яблок [9]. Изготовленные смеси имели низкую степень микробной обсемененности и длительный срок хранения. Хлебобулочные изделия, обогащенные плодово-ягодными порошками, позволяют улучшить рацион питания человека [10].

В работе Норкуловой З.Т. проанализирована эффективность работы гелиосушилки, снабженной термоаккумуляторами [11]. За счет использования раствора нитратной соли в качестве термоаккумулятора, удалось повысить эффективность работы гелиосушилки.

Преимуществом такой сушилки по сравнению с традиционными сушильными установками является энергосбережение. Сотрудники КубГТУ запатентовали инновационную вакуумную гелиосушильную установку, позволяющую продлить период сушки на вечерние и ночные часы [12]. Интенсифицировать процесс получения плодовых и ягодных порошков предложено с помощью инфракрасной и сверх высокочастотной обработки [13].

Ряд исследователей установили, что пищевые продукты, обогащенные плодово-ягодными порошками, позволяют укреплять здоровье и улучшать рацион питания человека. Такие порошки находят применение и в кондитерской промышленности [14], в продуктах диетического питания [15], в технологии мягких сыров [17], в продуктах функционального назначения [18], при изготовлении фруктово-ягодного мороженого [22].

Сотрудники ДагГТУ усовершенствовали способ получения порошка из яблок местных сортов с помощью гелиосушки [16]. Предложен способ производства пищевых добавок в виде криопорошков, с использованием жидкого азота и диоксида углерода [23–25].

Представлены технологические особенности изготовления плодоовощных и ягодных порошков [19], определены физико-химические характеристики растительных порошков [21]. Разработана программа уточненной модели потока солнечного излучения, позволяющая рассчитать солнечный коллектор на заданной широте и угол наклона коллектора [20].

В статье зарубежных авторов рассмотрены недостатки известных способов удаления влаги из плодов и овощей [26]. Предложены способы улучшения качества сушки с использованием энергии микроволн. Качество высушенных продуктов определялось химическими свойствами, включая содержание полифенолов, антиоксидантную способность и летучие вещества, а также физическими параметрами, такими как цвет, усадка, пористость и текстура.

Результаты другого исследования посвящены оценке нового типа сушильного оборудования для гелиосушки растительного сырья [27]. Приводятся энергетические показатели солнечной сушилки и тепломассообменные характеристики процесса сушки сырья.

Анализируя результаты аналитического обзора литературы можно отметить, что степень изученности исследуемой тематики довольно высокая, однако не полностью решены вопросы повышения качества порошкообразных продуктов, уровень дисперсности порошков, а также пути снижения себестоимости продукции.

Обзор научно-технической литературы по теме исследований подтвердил актуальность выбранного направления, выявил необходимость совершенствования технологии и оборудования для получения продуктов специализированного назначения. Теоретически обоснованы принципы технологии и оборудования для производства плодоовощных криопорошков.

Результаты исследования

Теоретическое обоснование процесса получения криопорошков

Предложен оригинальный способ гелиосушки растительного сырья в среде газообразного азота в установке с термоаккумулирующим устройством. Режимы гелиосушки: температура t до +60–65 °С, т = 5,5–6,5 ч. На основании проведенных исследований установлены оптимальные параметры технологического процесса: режим сушки t +50–65 °С, влажность готового продукта w 6 %, количество жидкого азота на 1 кг продукта – 2 : 1, продолжительность криоизмельчения т – до 10 мин. Сверхтонкое измельчение высушенного плодового и ягодного сырья является важной технологической операцией. Решение автора проводить измельчение в жидком азоте при минусовой температуре t от –100 до –190 °С, основано на необходимости предотвращения процессов окисления липидной части сырья. Такая обработка позволяет сократить процесс измельчения сырья, так как при температуре t ниже минус 100 °С растительное сырье становится хрупким и легко измельчается до сверхтонкого состояния. На рисунке 1 представлена последовательность современных технологических операций для получения криопорошков.



Рисунок 1 – Структурная схема технологических операций для производства криопорошков

Выбор сырья для получения криопорошков

Объектами исследований выбраны образцы плодов и овощей, выращиваемых в Дагестане и Краснодарском крае и имеющих сравнительно высокое содержание сухих и антиоксидантных веществ: алыча, сельдерей корневой, томаты и яблоки.

В таблице 1 приведены данные по антиоксидантной активности выбранных объектов исследований.

Таблица 1 – Перечень плодово-ягодного сырья для производства криопорошков

Наименование	Сорт	Содержание сухих веществ, %	Антиоксидантная активность, мг/100 г
Алыча	Кубанская комета	13,5	320
Сельдерей	Яблочный	16,7	52
Томаты	Краснодарец	6,7	46
Яблоки	Делишес	14,3	48

Как видно из данных таблицы 1, отобранные для исследований сорта плодоовощного сырья, обладают сравнительно высокими антиоксидантными свойствами.

Методы исследования

Пищевую и биологическую ценность сырья и готовой продукции определяли по действующим стандартным методикам, с учетом требований Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011.

Исследование химсостава новых продуктов питания осуществляли в аккредитованной испытательной лаборатории «Центр качества пищевой продукции» КубГАУ. По ГОСТ 25011-2017 определяли массовую долю белка; по ГОСТ 26183-84 – массовую долю жира; по МУ 1-40/38058 – углеводы; по ГОСТ 9793-2016 массовую долю влаги.

Суммарную антиоксидантную активность определяли по методу DPPH. Из объективных инструментальных методов анализа использовали метод капиллярного электрофореза на приборе Капель 105 М и спектрофотометрического анализа на приборе UNICO-2800, для определения содержания витаминов, каротиноидов и органических кислот. Гранулометрический состав криопорошков из плодов алычи, корней сельдерея, томатов и яблок исследовали на счетчике Коультера с кондуктометрической приставкой РСА. Полученные данные были обработаны методами математической статистики с использованием программ Statistical 13.3 и Microsoft Ofice Excel 2010.

Результаты исследований

Обезвоживание сырья как этап к получению криопорошков

Для обезвоживания сырья выбран практически неисчерпаемый способ подвода тепла – солнечную энергию.

Годовая солнечная радиация в Республике Дагестан находится в интервале 120–130 ккал/см^2, с годовым приходом суммарной радиации до 1400 кВт-ч/м^2. Сумма активных температур в Динском районе Краснодарского края 3480–3486 °С. С помощью Программного комплекса Smart295 определяли угол наклона солнечного коллектора. Наиболее мощный поток солнечной энергии на горизонтальную поверхность в заданном районе приходится на май-август месяцы года. Этот период времени следует считать самым приемлемым для организации гелиосушки плодов и овощей.

Разработка конструкции вакуумной радиационной гелиосушилки

На рисунке 2 показана модернизированная азотно-вакуумная гелиосушильная установка.

Усовершенствованная вакуумная гелиосушильная установка работает следующим образом: перед горизонтальной части термотрубы устанавливается мембранный модуль 1, с диаметром отверстий равных молекуле азота – 0,37 нм. Кроме азота через эти поры проходит и водород, у которого диаметр молекул равен 0,28 нм. Азотно-водородная смесь поступает в солнечный коллектор 2, изготовленный из радиопрозрачного стекла. Тепловая солнечная энергия разогревает гравийный термоаккумулятор 5 до 65–70 °С. Нагретый теплоноситель, благодаря вакууму, создаваемому водоструйным насосом 4, в сушильной камере 3, интенсивно отбирает влагу из расположенного на сетчатых поддонах сырья.

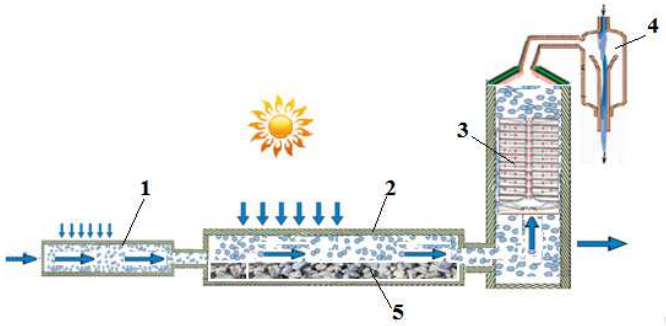

Рисунок 2 – Модернизированная азотно-вакуумная гелиосушильная установка:
1 – мембранный модуль; 2 – термоаккумулирующая труба; 3 – лотки с плодами и овощами;
4 – водоструйный насос; 5 – гравий

Конструкция сушильной установки позволяет осуществлять процесс сушки даже в облачную погоду.

На рисунке 3 показана схема установки для получения жидкого азота из воздуха мембранным способом, разработанная Российским научным центром «Прикладная химия» и ООО «Компрессор Газ». Главной составной частью установки является мембранный газоразделительный блок, сформированный из полых волокон с диаметром пор 50–200 мкм.



Рисунок 3 – Схема установки для получения жидкого азота

Атмосферный воздух сжимается компрессором и подается в ресивер. Сжатый воздух проходит очистку на фильтрах и поступает в мембранный газоразделительный блок. Из нижней части блока отводится обогащенный кислородом воздух. Очищенная фракция азота (99,5 %) из ресивера направляется в компрессор, где сжижается и поступает потребителям.

Криопорошки из плодов и овощей получали по разработанной авторами технологии. Предварительно подготовленное пюреобразное сырье загружали в радиопрозрачные противни с толщиной слоя 10–12 мм. Замораживание сырья в противнях осуществляли путем нанесения на поверхность сырья жидкого азота при минус 160 ºС в течение 10–15 мин и вакуумной СВЧ-сушки плодов и овощей в течение 30 мин до влажности 6–9 %.

На рисунке 4 показана технологическая линия производства криопорошков.

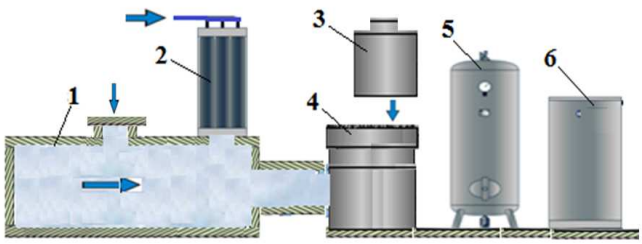

Рисунок 4 – Аппаратурно-технологическая схема производства криопорошков:
1 – криогенный аппарат; 2 – дозаторы жидкого азота; 3 – сосуд Дьюара; 4 – криомельница;
5 – дозатор-наполнитель; 6 – палетайзер

Анализ массового состава криопорошков

В таблице 2 приведен химический состав криопорошков из плодов и овощей.

Таблица 2 – Химический состав криопорошков из плодоовощного сырья

Показатели	Алыча	Сельдерей	Томаты	Яблоки
Производительность, кг/ч	100	109	130	120
Дисперсность, мкм	30–45	30–45	25–40	30–45
Влажность, %	7–8	5–7	6–7	8–9

Качественный состав криопорошков представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав криопорошков

Вид продукта	Состав пищевых и биологически активных веществ					
	вода, г	белок, г	липиды, г	углеводы, г	вит. С, мг	β-каротин, мг
Алыча	6,2±0,1	0,7±0,03	0,5	52±0,3	38,2±0,3	0,4±0,01
Сельдерей	5,7±0,1	6,4±0,04	1,9	38±0,2	27±0,2	0,03±0,002
Томаты	4,2±0,1	12,9±0,09	5,7	54±0,3	117±0,5	11±0,5
Яблоки	8,0±0,1	6,4±0,02	6,1	69±0,3	58±0,4	0,4±0,01

Дисперсный состав криопорошков

Определен гранулометрический состав криопорошков из плодов алычи, сельдерея корневого, плодов томатов и яблок.

В таблице 4 представлен дисперсный состав криопорошков.

Таблица 4 – Дисперсный состав криопорошков

Статистический показатель	Алыча		Сельдерей		Томаты		Яблоки	
	по счёту	по объёму	по счёту	по объёму	по счёту	по объёму	по счёту	по объёму
Средний размер, мкм	23,30	51,68	32,46	78,14	21,18	39,42	16,83	81,71
Медианное значение, мкм	25,93	49,50	38,62	68,23	21,62	37,90	15,56	89,20
Мода, мкм	27,34	41,13	42,84	49,53	23,69	34,38	14,19	98,76
СКО, мкм	1,63	1,73	1,59	1,95	1,59	1,62	1,60	2,20
Удельная поверхность, $м^2/г$	–	0,14	–	0,083	–	0,18	–	0,086

Дисперсность полученных частиц всех образцов находится в интервале 14–116 мкм, в то время как при обычном помоле получаются частицы размером до 500 мкм.

Выводы. Обзор научно-технической литературы по способам получения сухих растительных порошков показал, что на практике имеются проблемы снижения температурной нагрузки на термолабильные компоненты сырья и есть необходимость усовершенствовать технологию и оборудование для повышения качества и снижения себестоимости производства плодоовощных порошков.

Выявлено, что перспективным способом снижения энергозатрат при обезвоживании сырья является вакуумная гелиосушка в среде инертного газа. Возможность получения азота из воздуха мембранным методом позволила разработать инновационную технологию получения высококачественных криопорошков. Установлено, что качественный и дисперсный состав полученных криопорошков значительно превышают аналогичные продукты.

При дальнейшем развитии выбранного направления по совершенствованию производства пищевых добавок в виде криопорошков, авторы намерены использовать имеющиеся в научном арсенале электромагнитные и газожидкостные технологические приемы.

Литература

1. Ахатов Ж.С., Ибраимов А.Э., Мамадиев Б.Р. Расчетные и экспериментальные исследования по определению теплотехнических характеристик солнечной сушилки-парника с тепловым аккумулятором // В сб. матер. I Международной научно-практической конференции «Высокие интеллектуальные технологии в науке и образовании». – 2017. – Том 1. – С. 125–130.

2. Баженова А.Е. Влияние свойств овощных и фруктовых порошков на микробиологические показатели кондитерских изделий // Пищевая промышленность. – 2022. – № 12. – С. 53–56. – DOI: 10.52653/PPI.2022.12.12.010

3. Быстрова Е.А., Алексеенко Е.В. Инновационные подходы к разработке порошковых технологий из ягод брусники // В книге: Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. – 2017. – С. 124–127.

4. Бурмистрова О.М., Бурмистров Е.А., Наумова Н.Л. Качество и пищевая ценность порошка из сублимированной облепихи // Инновации и продовольственная безопасность. – 2021. – № 2. – С. 7–14. – URL : https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-32-2-7-14

5. Совершенствование технологии получения порошков из растительного сырья / С.И. Данилин [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 4. – С. 150–159. – DOI: 10 24411/2311-6447-2020-10095.

6. Обоснование применения растительных порошков в технологии мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности / О.Л. Ладнова [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – № 6 (71). – С. 39–45. – DOI:10.33979/2219-8466-2021-71-6-39-45.

7. Мембранные технологии в установках получения азота из воздуха / Ю.Л. Кузнецов [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 6. – С. 69–71.

8. Миневич И.Э., Цыганова Т.Б., Черных В.Я. Характеристика порошков белкового концентрата и полисахаридного экстракта, полученных из льняного сырья методом распылительной сушки // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 3. – С. 46–57. – URL : https://doi.org/10.36107/spfp.2020.334

9. Мошкин А.В., Васюкова А.Т., Алексеев А.Е. Сухие функциональные смеси с плодово-ягодными порошками для дрожжевого теста // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81. – № 2 (80). – С. 177–183.

10. Нилова Л.П. Антиоксидантные свойства хлебобулочных изделий с плодово-ягодными порошками // Хлебопродукты. – 2018. – № 11. – С. 48–50.

11. Норкулова З.Т. Анализ исследования эффективности солнечной сушилки с интегрированной системой хранения тепловой энергии для сохранения продуктов питания // Universum: технические науки. – 2023. – № 1. – С. 40–41.

12. Патент на полезную модель 215128. Вакуумная гелиосушильная установка / Герасимова Н.Ю., Деревянных А.Н., Запорожский А.А., Касьянов Г.И., Фомин С.В. Заявка № 2022114079, заявл. 25.05.2022, опубл. 30.11.2022.

13. Перфилова О.В. Применение СВЧ-, ИК-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81. – № 1 (79). – С. 144–148.

14. Использование плодово-ягодных растительных порошков в производстве ириса тираженного / Н.В. Присухина [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 5 (170). – С. 195–201.

15. Использование плодово-ягодного порошка в технологии получения биологически активной добавки для диетического питания / Т.Г. Причко [и др.] // Научные труды СКФЦ садоводства, виноградарства, виноделия. – 2018. – Т. 14. – С. 210–214.

16. Инновационная технология получения яблочного криопорошка с применением гелиосушки / А.М. Рамазанов [и др.] // В сборнике материалов XI всероссийской научно-практической конференции «Повышение качества и безопасности пищевых продуктов». – Махачкала, 2021. – С. 132–136.

17. Рогачикова Н.М., Серпунина Л.Т. Эффективность использования ягодных порошков в технологии мягких сыров без созревания // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 3. – С. 30–32.

18. Родионов Ю.В. Вакуумные технологии производства порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод для функциональных продуктов питания / Ю.В. Родионов [и др.] // Наука в центральной России Science in the central Russia. – 2023. – № 1 (61). – С. 55–65. – DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-55-65.

19. Хоконова М.Б., Карданова З.М. Особенности производства плодоовощных порошков // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2017. – № 2. – С. 78–81.

20. Хорева В.А. Уточненная модель расчета потока солнечного излучения // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 4. – С. 44–56.

21. Определение физико-химических характеристик растительных порошков / В.Я. Черных [и др.] // Пищевая промышленность. – 2018. – № 1. – С. 51–55.

22. Разработка рецептуры и оценка качества сорбета с применением плодово-ягодного сырья и порошка топинамбура / Д.Т. Юдина [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – № 2 (67). – С. 75–81.

23. Яралиева З.А. Особенности технологии криопорошков из растительного сырья Республики Дагестан. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2022. – 136 с.

24. Яралиева З.А. Криопорошки – как новый вид пищевых добавок // В сборнике материалов X Всероссийской научно-практической конференции «Повышение качества и безопасности пищевых продуктов». – 2020. – С. 70–73.

25. Яралиева З.А. Разработка инновационной технологии виноградных криопорошков и напитков // Пиво и напитки. – 2021. – № 2. – С. 24–28.

26. Figiel Adam, Michalska Anna. Overall Quality of Fruits and Vegetables Products Affected by the Drying Processes with the Assistance of Vacuum-Microwaves // Int J Mol Sci. – 2016. Dec 30. – № 18(1). – P. 71. – DOI: 10.3390/ijms18010071.

27. Results of research into technological process of fruit drying in the solar dryer / S. Korobka [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 1. – Issue 8 (91). – P. 64–73. – DOI: https://Doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122816.

References

1. Akhatov J.S., Ibraimov A.E., Mamadiev B.R. Calculated and experimental studies to determine the thermal characteristics of solar dryer- greenhouse with a thermal accumulator // In Vb. of Mater. I International Scientific and Practical Conference “High intellectual technologies in science and education”. – 2017. – Vol. 1. – P. 125–130.

2. Bazhenova, A.E. Influence of the properties of vegetable and fruit powders on the microbiological indicators of confectionery products // Food industry. – 2022. – № 12. – P. 53–56. – DOI: 10.52653/PPI.2022.12.12.010

3. Bystrova E.A., Alekseenko E.V. Innovative approaches to the development of powder technologies from cowberry berries // In the book: Development of food and processing industry of Russia: personnel and science. – 2017. – P. 124–127.

4. Burmistrova O.M., Burmistrov E.A., Naumova N.L. Quality and nutritional value of powder from freeze-dried sea buckthorn // Innovations and food safety. – 2021. – № 2. – P. 7–14. – URL : https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-32-2-7-14

5. Improvement of technology for obtaining powders from vegetable raw materials / S.I. Danilin [et al.] // Technologies of food and processing industry of agroindustrial complex – products of healthy food. – 2020. – № 4. – P. 150–159. – DOI: 10 24411/2311-6447-2020-10095.

6. Justification of the use of vegetable powders in the technology of flour confectionery products of increased nutritional value / O.L. Ladkova [et al.] // Technology and Commodity Science of innovative food products. – 2021. – № 6 (71). – P. 39–45. – DOI:10.33979/2219-8466-2021-71-6-39-45.

7. Membrane technologies in installations for nitrogen production from air / Yu.L. Kuznetsov [et al.] // Exposition Neft Gaz. – 2017. – № 6. – P. 69–71.

8. Minevich I.E., Tsyganova T.B., Chernykh V.Ya. Characterization of protein concentrate and polysaccharide extract powders obtained from flax raw materials by spray drying // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2020. – № 3. – P. 46–57. – URL : https://doi.org/10.36107/spfp.2020.334

9. Moshkin A.V., Vasyukova A.T., Alekseev A.E. Dry functional mixtures with fruit and berry powders for yeast dough // Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2019. – V. 81. – № 2 (80). – P. 177–183.

10. Nilova L.P. Antioxidant properties of bakery products with fruit and berry powders // Khleboprodukty. – 2018. – № 11. – P. 48–50.

11. Norkulova Z.T. Analysis of the efficiency research of a solar dryer with an integrated thermal energy storage system for the preservation of pi-tan products // Universum: Technical Sciences. – 2023. – № 1. – P. 40–41.

12. Patent for utility model 215128. Vacuum solar drying plant / Gerasimova N.Yu., Derevyannykh A.N., Zaporozhsky A.A., Kasyanov G.I., Fomin S.V. Application № 2022114079, filed. 25.05.2022, published 30.11.2022.

13. Perfilova O.V. Application of microwave, IR heating in the technology of obtaining carrot powder from squeezings // Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2019. – V. 81. – № 1 (79). – P. 144–148.

14. Use of fruit and berry plant powders in the production of iris tirachnogo / N.V. Prisukhina [et al.] // Vestnik KrasGAU. – 2021. – № 5 (170). – P. 195–201.

15. Use of fruit and berry powder in the technology of obtaining biologically active additive for dietary nutrition / T.G. Prychko [et al.] // Scientific Proceedings of SCFC of horticulture, viticulture, winemaking. – 2018. – Vol. 14. – P. 210–214.

16. Innovative technology for obtaining apple cryopowder using helio-drying / A.M. Ramazanov [et al.] // In Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference “Improving the quality and safety of food products”. – Makhachkala, 2021. – P. 132–136.

17. Rogachikova N.M., Serpunina L.T. Effectiveness of the use of berry powders in the technology of soft cheeses without ripening // Cheesemaking and butter-making. – 2020. – № 3. – P. 30–32.

18. Rodionov, Yu.V. Vacuum technologies for the production of powders and extracts from vegetables, fruits and berries for functional foods / Yu.V. Rodionov [et al.] // Science in the central Russia Science in the central Russia. – 2023. – № 1 (61). – P. 55–65. – DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-55-65.

19. Khokonova M.B., Kardanova Z.M. Features of the production of fruit and vegetable powders // Izvestia Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. – 2017. – № 2. – P. 78–81.

20. Khoreva, V.A. Refined model for calculating the solar radiation flux // International technical and economic journal. – 2022. – № 4. – P. 44–56.

21. Determination of physical and chemical characteristics of vegetable powders / V.Y. Chernykh [et al] // Food Industry. – 2018. – № 1. – P. 51–55.

22. Recipe development and quality assessment of sorbet with the use of fruit and berry raw materials and topinambur powder / D.T. Yudina [et al.] // Technology and Commodity Science of innovative food products. – 2021. – № 2 (67). – P. 75–81.

23. Yaralieva Z.A. Features of the technology of cryopowders from plant raw materials of the Republic of Dagestan. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2022. – 136 c.

24. Yaralieva Z.A. Cryoporoshki – as a new type of food additives // In Proceedings of the X All-Russian Scientific and Practical Conference “Improving the quality and safety of food products”. – 2020. – P. 70–73.

25. Yaralieva Z.A. Development of the innovative technology of grape cryoporoshes and drinks // Beer and drinks. – 2021. – № 2. – P. 24–28.

26. Figiel Adam, Michalska Anna. Overall Quality of Fruits and Vegetables Products Affected by the Drying Processes with the Assistance of Vacuum-Microwaves // Int J Mol Sci. – 2016. Dec 30. – № 18(1). – P. 71. – DOI: 10.3390/ijms18010071.

27. Results of research into technological process of fruit drying in the solar dryer / S. Korobka [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 1. – Issue 8 (91). – P. 64–73. – DOI: https://Doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122816.