

На правах рукописи



Аббазова Венера Нагимовна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУХОГО
КАРОТИНОИДСОДЕРЖАЩЕГО ИНГРЕДИЕНТА
И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2025

Диссертационная работа выполнена на кафедре технологии питания
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Школьниковна Марина Николаевна (Россия),
профессор кафедры технологии питания
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Давыденко Наталия Ивановна (Россия),
заведующий кафедрой технологии
и организации общественного питания
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный
университет»

доктор технических наук, доцент
Перфилова Ольга Викторовна (Россия),
профессор кафедры продуктов питания,
товароведения и технологии переработки
продукции животноводства
ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный
аграрный университет»

Ведущая организация: ФГБУН Сибирский федеральный научный центр
агробиотехнологий Российской академии наук

Защита диссертации состоится 6 июня 2025 г. в 13:30 на заседании
диссертационного совета 24.2.425.03 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/
Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический
университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять
по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП-985, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», ученому
секретарю диссертационного совета 24.2.425.03. Факс: (343) 283-13-25.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО
«Уральский государственный экономический университет». Автореферат
размещен на официальном сайте ВАК Минобрнауки России:
<https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»: <http://science.usue.ru>.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

 Л. А. Донскова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Оценка фактического питания россиян показала, что, наряду с дефицитом ряда макро- и микронутриентов, население испытывает дефицит витамина А, который составляет 20–89 % от нормы. Основной и важнейшей задачей пищевой промышленности является обеспечение населения не только высококачественными, но и полезными продуктами питания. В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г. выделены основные направления переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания: сохранение и расширение сырьевой базы, повышение конкурентоспособности пищевой продукции на внутреннем и внешнем рынках с использованием традиционных видов сырья.

Одна из актуальных задач пищевой промышленности – использование местного сырья для производства пищевой продукции, как в свежем, так и в переработанном виде. Среди плодовоовощного сырья, содержащего в значимых количествах предшественник витамина А – каротиноиды (в частности, β -каротин), стоит выделить мякоть плодов тыквы *Cucurbita* spp. – до 35,1 мг/100 г (в моркови – до 19,2 мг/100 г). Тыква как сырье для производства продуктов питания обладает рядом неоспоримых преимуществ и высоким технологическим потенциалом: хорошая приспособляемость к различным агроклиматическим условиям позволяет культивировать ее практически повсеместно на территории России, выращивание и сбор тыквы не вызывают значительных затруднений, плоды обладают хорошей лежкостью, способностью к длительному хранению и круглогодичной переработке.

Известно, что биодоступность β -каротина из овощей не превышает 65 %, при этом она находится в прямой зависимости от пищевой системы и технологии ее получения. Поэтому разработка эффективных способов и технологий переработки каротиноидсодержащего сырья является важной научной проблемой, решение которой посредством создания каротиноидсодержащих пищевых систем с высокой биодоступностью этого микронутриента обеспечит профилактику ряда серьезных и социально значимых заболеваний.

Степень разработанности проблемы. Исследованию состава каротиноидсодержащего сырья, совершенствованию технологий его переработки, использованию в составе пищевых систем посвящены работы В. А. Тутельяна, В. М. Позняковского, И. Ю. Потороко, О. К. Мотовилова, В. М. Коденцовой, Е. Д. Рожнова, О. В. Перфиловой, О. В. Голуб и др., а также зарубежных ученых А. Al Jahani, G. Britton, D. Kolozyn-Krajewska, A. J. Meléndez-Martínez, A. Ninčević Grassino, J. Shi, A. Szydłowska, Y. Zhang и др.

Однако при анализе доступных источников информации выявлено незначительное количество данных, описывающих применение технологических приемов для сохранения нативного состава каротиноидов мякоти

тыквы и использование для этих целей ферментативного гидролиза. Кроме того, недостаточно комплексных исследований, посвященных исследованию влияния ферментативного гидролиза на реологические, оптические характеристики продуктов переработки мякоти тыквы и биодоступность β -каротина. Разработку технологии полуфабриката из мякоти тыквы с использованием приема ферментативного гидролиза нативного пюре можно обоснованно считать актуальной, что подтверждается рядом программ обеспечения населения продуктами для здорового питания на государственном уровне: Доктрина продовольственной безопасности России, Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. и др.

Целью диссертационной работы является разработка ферментативно модифицированного сухого каротиноидсодержащего ингредиента из мякоти тыквы с заданными свойствами для использования в пищевых системах.

Для достижения цели поставлен ряд **задач**:

- исследовать факторы, формирующие качество нативного каротиноидсодержащего ингредиента из мякоти тыквы и его безопасность, с анализом опасных факторов на все этапах переработки;
- разработать обучаемую модель для автоматического анализа изображений плодов тыквы для контроля сохранности, качества и безопасности;
- обосновать целесообразность ферментативной модификации и вакуумной сушки в технологии пюре с заданными свойствами (цветовые характеристики, содержание каротиноидов, консистенция, технологические характеристики и усвояемость) и разработать технологию сухого тыквенного каротиноидсодержащего ингредиента;
- исследовать влияние способа получения каротиноидсодержащего ингредиента из мякоти тыквы на содержание и состав индивидуальных каротиноидов и его оптические характеристики;
- изучить биодоступность каротиноидов ферментативно модифицированного тыквенного каротиноидсодержащего ингредиента с использованием методов *in vitro* и оценить влияние на пробиотическую микрофлору;
- исследовать технологическую пригодность разработанного каротиноидсодержащего ингредиента в составе пищевых систем (концентраты для приготовления густого напитка и супа-пюре, кисломолочный напиток) и оценить их свойства.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 8, 15, 17, 19 паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки):

1. Научно обоснована и экспериментально доказана эффективность комбинированной ферментативной модификации препаратами амилолитического и протеолитического действия в технологии ингредиента из каротиноидсодержащего сырья для направленного изменения текстуры мякоти, сохранения цветовых (светлота, насыщенность цвета) характеристик и обес-

печения максимального содержания каротиноидов. Определены оптимальные параметры: длительность ферментативной модификации 55 мин, дозировка ферментного препарата Амилоризин – 40 ед. АС/г сырья, дозировка ферментного препарата Протозим – 18 ед. ПС/г сырья (п. 15).

2. Разработана математическая модель, описывающая динамику каротиноидов нативной мякоти тыквы при ферментативной модификации, что позволит рассчитать содержание каротиноидов при ферментативной модификации тыквенного пюре (п. 8).

3. Впервые *in vitro* показано, что ферментативная обработка тыквенного пюре в выбранных условиях позволяет увеличить биодоступность каротиноидов на 25,91 % в желудке и на 16,66 % в кишечнике, что обеспечивает более эффективное их использование в составе пищевых систем (п. 17).

4. Разработана обучаемая модель для автоматического анализа изображений с целью оперативного контроля качества и безопасности овощей семейства тыквенных с ранним выявлением дефектных плодов при хранении (п. 19).

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования качества и безопасности мякоти тыквы и нативного пюре;
- концепция обучаемой модели для автоматического анализа изображений в контроле сохранности, качества и безопасности плодов тыквы;
- технология ферментативно модифицированного сухого каротиноидсодержащего ингредиента;
- результаты исследования технологических свойств сухого каротиноидсодержащего ингредиента;
- результаты оценки биодоступности и влияния на пробиотическую микрофлору каротиноидов ферментативно модифицированного тыквенного пюре с использованием методов *in vitro*;
- результаты оценки технологической пригодности разработанного пюре в составе пищевых систем (концентраты для приготовления густого напитка и супа-пюре, кисломолочный напиток).

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость* заключается в применении научно обоснованного подхода к моделированию заданных технологических и потребительских свойств каротиноидсодержащего ингредиента из мякоти тыквы с использованием ферментативной модификации и вакуумной сушки с целью сохранения каротиноидов, повышения их биодоступности и использования в качестве полуфабриката для обеспечения добавленной полезности пищевых систем.

Практическая значимость заключается в разработке ферментативно модифицированного сухого каротиноидсодержащего ингредиента из мякоти тыквы с заданными характеристиками (цвет, консистенция, усвояемость каротиноидов) и полученных из него пищевых систем с добавленной полезностью.

По результатам работы получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024687982 «Программа для расчета содержания каротиноидов при ферментализе тыквенного пюре». Разработаны рецептуры пищевых продуктов на основе сухого каротиноидсодержащего ингредиента – концентратов для приготовления напитков (12 %) и первых блюд (40 %), кисломолочного напитка (5 %). Разработанные рецептуры прошли промышленную апробацию на предприятиях ООО «ПРО-Питание» (г. Екатеринбург), ООО «Удача» (г. Верхняя Пышма), разработаны ТУ на сухое ферментализованное тыквенное пюре, внедренные на предприятии ООО «Удача».

Материалы диссертации используются в учебном процессе на кафедре технологии питания ФГБОУ ВО «УрГЭУ» для студентов направлений подготовки 19.03.04 и 19.04.04 «Технология продукции и организация общественного питания».

Методология исследования. Методологической основой работы являются труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам переработки мякоти тыквы в полуфабрикаты и пищевые продукты с максимальным сохранением биологически активных веществ. Для решения поставленных задач применялись общенаучные подходы, при проведении экспериментальных исследований использовались классические методы и методики, а также специальные методы исследований.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности подтверждена результатами экспериментальных исследований, большим объемом экспериментальных данных, обработанных методами расчета статистической достоверности измерений с использованием серии компьютерных программ MS Office 2019, Statistica 10.

Ключевые результаты исследования получили апробацию в публикациях, докладах и выступлениях на международных и всероссийских научно-практических конференциях, прошедших в Княгинино (2024), Москве (2024), Казани (2023), Санкт-Петербурге (2023), Новосибирске (2022), Екатеринбурге (2021), Краснодаре (2020).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 7 статей в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки РФ; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из четырех глав, включающих аналитический обзор научно-технической литературы, методологическую часть, результаты исследования и их анализ, списка литературы и шести приложений. Основное содержание изложено на 164 страницах печатного текста, включает 41 таблицу и 47 рисунков. Список литературы насчитывает 214 источников, из них 145 – зарубежных авторов.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность работы, проанализирована степень разработанности проблемы, показаны научная новизна и практическая значимость, достоверность и уровень апробации, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен анализ доступной информации по теме исследования; обобщены сведения по технологическому потенциалу тыквы и сохранности каротиноидов в составе пищевых систем.

Во **второй главе** приведена общая схема исследования (рисунок 1), определены объекты и методы исследований.

Объектами исследования на различных его этапах являлись:

1) свежие плоды тыквы урожая 2020–2024 гг. потребительской степени зрелости сортов:

– крупноплодных: Грибовская зимняя, Зимняя сладкая (Алтайский край), Россиянка, Улыбка, Кустовая оранжевая (Свердловская область);

– твердокорых: Алтайская 47 (Алтайский край);

2) образцы каротиноидсодержащего ингредиента (КСИ) из мякоти тыквы:

– контрольные, полученные по традиционной технологии (К1), высушенные в вакуумном сушильном шкафу Labtex LT-VO/50 до влажности 4,5 % (К2);

– опытные, полученные путем ферментативной модификации (ФМ) мякоти тыквы, диспергированной в гомогенизаторе Witeg HG-15D. Диспергированное тыквенное пюре (ТП) подвергали ФМ при 65 °С в течение 60 мин при использовании ферментных препаратов (ФП) Амилоризин и Протозим (О1), высушенные аналогично контрольным образцам до влажности 4,5 % (О2);

3) опытные образцы пищевых продуктов (кисломолочный напиток (КМН) для индустрии питания, концентраты для приготовления супа-пюре и густого напитка (ГН)), получаемые регидратацией сухого каротиноидсодержащего ингредиента (СКСИ) при использовании дополнительных ингредиентов.

В исследовании применяли ФП: Termamil SC (Novozymes A/S, Дания), Альфалад БН, Альфалад БТ, Амилоризин, Протозим (ООО «Биопрепарат», Россия).

В работе использовали общепринятые и специальные методы анализа: органолептические (в том числе дескрипторно-профильный), физико-химические, микробиологические, статистические, социологические, корреляционно-регрессионные, специальные, а также моделирования.

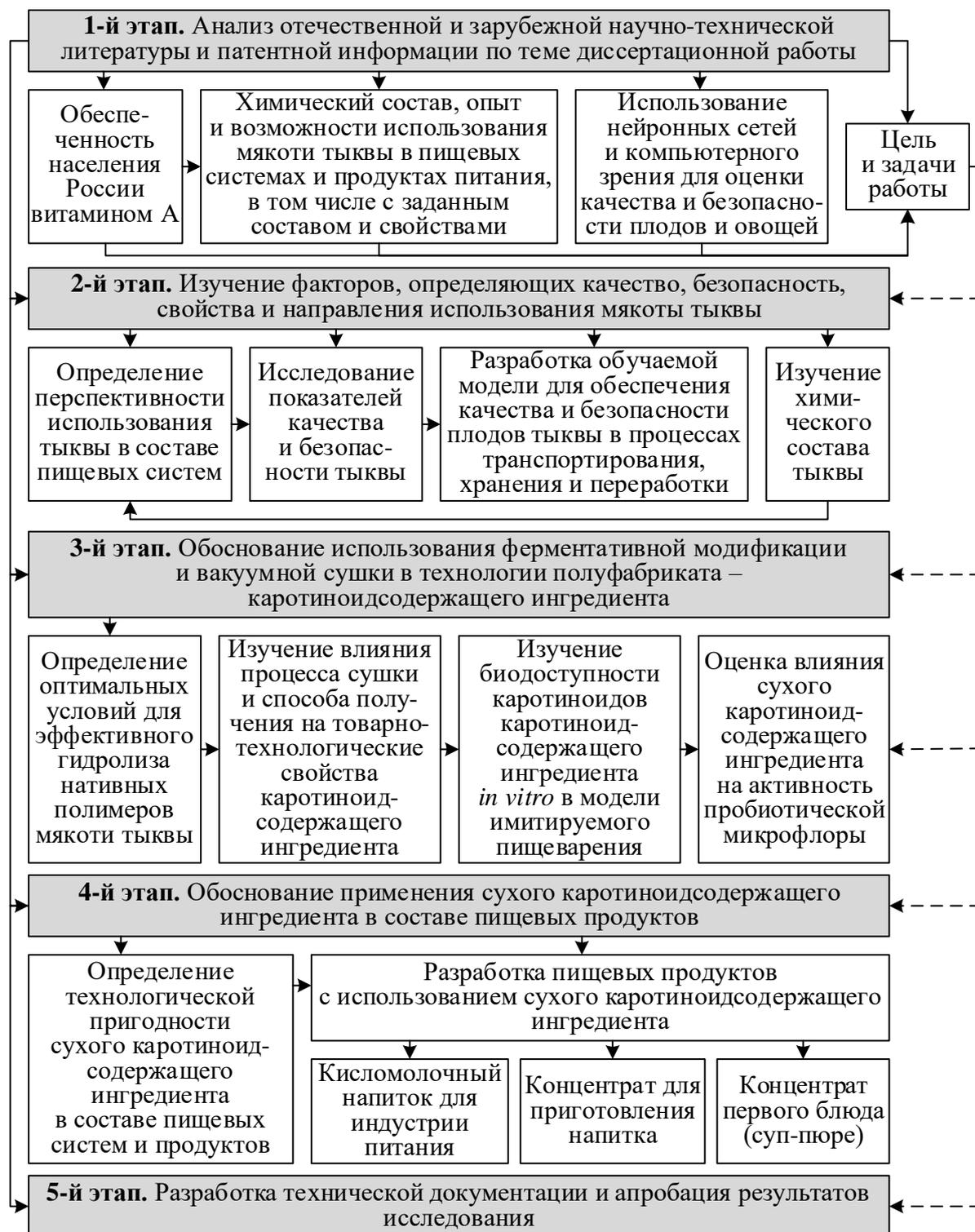


Рисунок 1 – Схема проведения экспериментальных исследований

В третьей главе представлены результаты обоснования ФМ в технологии КСИ, определены ее оптимальные условия для эффективного гидролиза крахмала и белков мякоти тыквы. Исследовано влияние сушки и переработки на динамику каротиноидов и цветовых характеристик пюре. Изучены биодоступность каротиноидов КСИ *in vitro* и его влияние на активность

пробиотической микрофлоры. Разработана обучаемая цифровая модель для обеспечения безопасности плодов тыквы в процессе товародвижения.

На первом этапе проведена оценка качества и технологической пригодности образцов тыквы, установлено соответствие требованиям ГОСТ 7975: форма и размер плодов, окраска коры и мякоти плодов свойственны ботаническому виду и сорту.

Исследовали морфологический (рисунок 2) и химический состав (таблица 1) плодов тыквы.

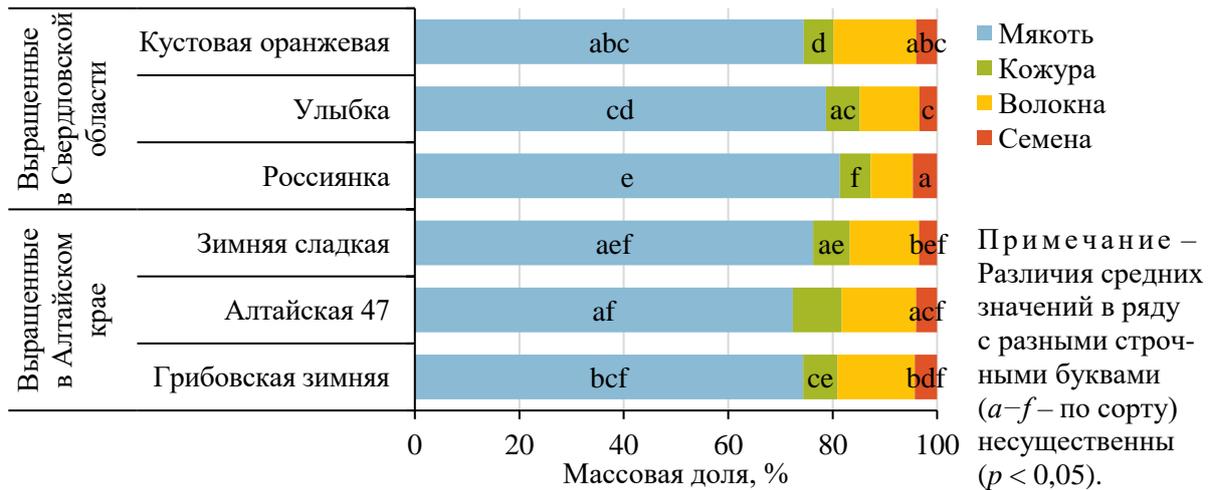


Рисунок 2 – Морфологический состав плодов тыквы (усредненные значения за 2020–2024 гг.) ($n = 5$)

Достоверно по количеству мякоти в плодах выделяются сорта Улыбка ($78,74 \pm 1,41$)% и Россиянка ($81,40 \pm 1,86$)%, последний можно отнести к наиболее подходящим для промышленной переработки.

Содержание сухих веществ в образцах тыквы составляет 7,88–11,18%. Наибольшее содержание сахаров наблюдается в сортах Зимняя сладкая (6,59%) и Кустовая оранжевая (6,46%), что согласуется с результатом органолептической оценки мякоти. Содержание каротина – от ($3,153 \pm 0,153$) (Зимняя сладкая) до ($4,399 \pm 0,399$) мг/г (Алтайская 47).

В эксперименте подтверждена безопасность исследуемых образцов мякоти тыквы на соответствие требованиям ТР ТС 021.

Проанализирована потенциальная опасность при переработке сырья. Наиболее опасной является группа биологических факторов – патогенные микроорганизмы.

С целью автоматизации своевременного и оперативного контроля качества с использованием сверточной нейронной сети разработана обучаемая модель анализа изображений плодов тыквы, сортировка изображений проведена в соответствии с ГОСТ 7975. Пример подбора и группировки изображений представлен на рисунке 3. Программа анализирует изображение и генерирует отчет с рекомендациями, сохраняя историю анализов для отслеживания изменений состояния и безопасности плодов тыквы.

Таблица 1 – Химический состав мякоти образцов тыквы (усредненные значения за 2020–2024 гг.) ($n = 5, M \pm m$)

Показатель	Образцы тыквы, выращенные					
	в Алтайском крае			в Свердловской области		
	Грибовская зимняя	Алтайская 47	Зимняя сладкая	Россиянка	Улыбка	Кустовая оранжевая
М. д. сухих веществ, %	$8,15 \pm 0,31^{c-f}$	$7,88 \pm 0,37^{c-f}$	$9,03 \pm 0,52^{abf}$	$8,81 \pm 0,39^{abf}$	$9,15 \pm 0,33^{abf}$	$11,18 \pm 0,32^{a-e}$
М. д. редуцирующих сахаров, %	$4,67 \pm 0,27^{c-f}$	$5,11 \pm 0,34^{cef}$	$6,59 \pm 0,35^{abde}$	$5,24 \pm 0,29^{acde}$	$6,03 \pm 0,32^{a-d}$	$6,46 \pm 0,23^{abd}$
М. д. титруемых кислот, %	$0,45 \pm 0,05^e$	$0,39 \pm 0,04^{cef}$	$0,51 \pm 0,05^b$	$0,44 \pm 0,03^{ef}$	$0,54 \pm 0,04^{abd}$	$0,51 \pm 0,04^{bd}$
М. к. каротиноидов в расчете на β -каротин, мкг/г	$37,78 \pm 4,30^{bc}$	$43,99 \pm 3,03$	$31,53 \pm 3,15^{abe}$	$41,03 \pm 4,17^b$	$37,18 \pm 3,57^{bc}$	$40,29 \pm 3,22^b$
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	$10,34 \pm 2,07^{cd}$	$14,03 \pm 2,99^c$	$19,23 \pm 2,37$	$12,30 \pm 2,49^c$	$11,51 \pm 2,23^c$	$14,89 \pm 2,26^{ac}$
Железо, мг/100 г*	$0,51 \pm 0,03^{bde}$	$0,41 \pm 0,06$	$0,48 \pm 0,03^{bdef}$	$0,62 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,04^{bcd}$	$0,33 \pm 0,04$
Магний, мг/100 г*	$12,53 \pm 0,91^{bcef}$	$14,66 \pm 0,83^{acef}$	$18,44 \pm 0,89$	$13,75 \pm 0,89^{cef}$	$22,02 \pm 1,26$	$16,46 \pm 0,87$

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-f$ – по сорту) незначительны ($p < 0,05$).
* В расчете на сухую массу.

10

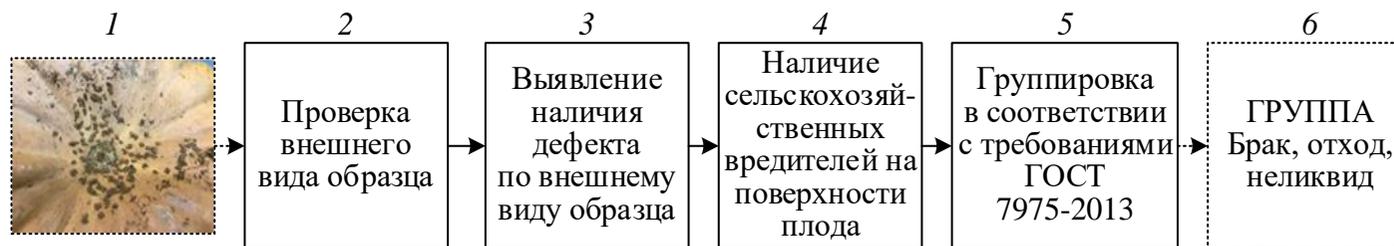


Рисунок 3 – Принцип сортировки и группировки изображений

Традиционная технология ТП приводит к деградации каротиноидов и снижению биологической ценности. Наличие до 4,5 % крахмала придает неприятный привкус сырого крахмала и специфические ощущения при разжевывании. По внешнему виду образец К1 – гомогенная масса желтого цвета, характерным овощным запахом, вкусом сырых овощей, слабо-сладким, негармоничным. Отмечался слабый синерезис без количественной оценки. Максимальное содержание каротиноидов отмечено в сортах Россиянка и Алтайская 47 – соответственно 41,81 и 41,78 мкг/г на а. с. в.

Одним из вариантов совершенствования технологии ТП, обеспечивающих сохранность каротиноидов, является ФМ нативного крахмала тыквы в щадящих условиях. Была поставлена серия экспериментов по подбору условий и амилолитических ФП для эффективного гидролиза крахмала мякоти тыквы. На рисунке 4 показано изменение консистенции (выраженной через обобщенную вязкостную характеристику¹) ТП в зависимости от температуры нагрева массы.

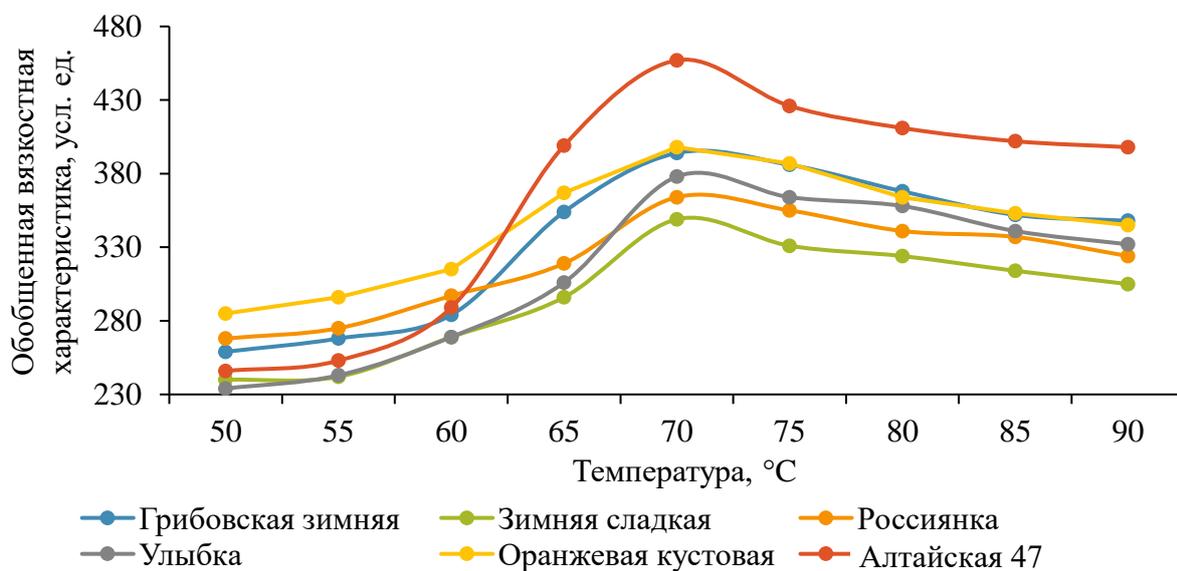
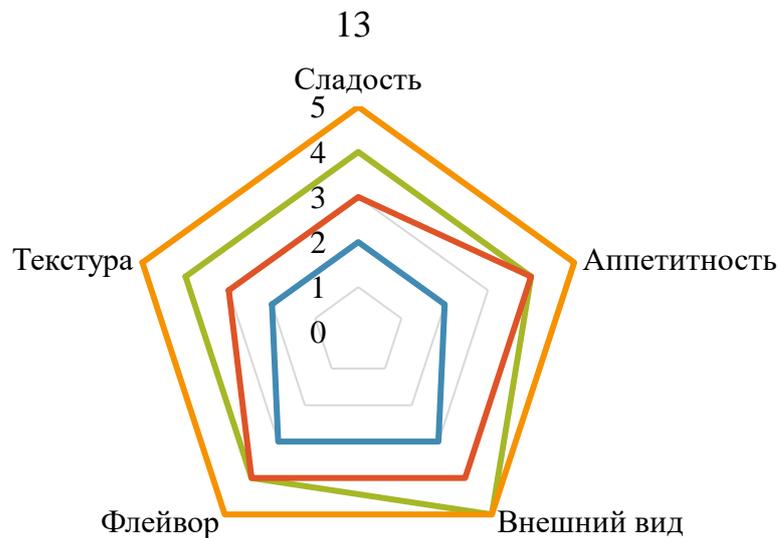


Рисунок 4 – Влияние температуры на вязкостные характеристики ТП

Для всех сортов максимальные значения обобщенной вязкостной характеристики отмечались при нагревании ТП до $T = 65\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в дальнейшем снижались, что соответствует стадии растворения крахмала. Таким образом, оптимальной температурой клейстеризации крахмала установлена $T = (70 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В опыте варьировали дозировку ФП (на преобладающую α -амилазную активность) от 5 до 50 ед. АС/г сырья. Продолжительность ФМ определяли по йодной пробе при микроскопировании ($\times 600$), что показано на рисунках 5 и 6 на примере ТП сорта Россиянка.

¹ Для измерения использовали экспресс-анализатор консистенции ЭАК-2М.



- Нативное пюре
- Ферментативно модифицированное пюре, 25 ед. АС/г ФП Термамил SC, 45 мин
- Ферментативно модифицированное пюре, 25 ед. АС/г ФП Амилоризин, 55 мин
- Ферментативно модифицированное пюре, 50 ед. АС/г ФП Альфалад БТ, 60 мин

Рисунок 7 – Профилограмма органолептических свойств образцов пюре

В дальнейших исследованиях для ФМ биополимеров ТП (крахмала и белков) использовали ФП Амилоризин и Протозим (таблица 2).

Таблица 2 – Значения уровней факторов и интервалов варьирования ТП

Показатель	Длительность ФМ (X_1)		Дозировка ФП Амилоризин (X_2)		Дозировка ФП Протозим (X_3)	
	Натуральное значение, мин	Кодированное значение	Натуральное значение, ед. АС/г	Кодированное значение	Натуральное значение, ед. ПС/г	Кодированное значение
Основной уровень	60,0	0	35,0	0	10,0	0
Интервал варьирования	20,0	–	10,0	–	5,0	–
Нижний уровень	40,0	–1	25,0	–1	5,0	–1
Верхний уровень	80,0	+1	45,0	+1	15,0	+1

Установлено, что наибольшее влияние на изменение каротиноидов при ФМ ТП оказывает дозировка ФП Амилоризин (фактор X_2), наименьшее – дозировка ФП Протозим (фактор X_3). Увеличение значения всех изучаемых факторов способствует увеличению содержания каротиноидов в ТП. Уравнение регрессии в натуральном виде:

$$\text{Car} = 36,3581 + 0,0507x_1 + 0,1276x_2 + 0,1218x_3 \quad (R^2 = 0,987). \quad (1)$$

При анализе уравнения регрессии определены оптимальные параметры ФМ, с максимальным содержанием каротиноидов в КСИ: продолжительность 55 мин, дозировка ФП Амилоризин – 40 ед. АС/г сырья, Протозим – 18 ед. ПС/г сырья.

Далее исследовали качество КСИ, полученного в оптимальных условиях (таблица 3).

При опробовании КСИ отмечено значительное увеличение ощущения сладости во вкусе, текстура пюре приобретает однородность, характерная для образца К1 крупинчатость устраняется.

На рисунке 8 представлены данные, характеризующие изменение влагосодержания (*а*) в слое КСИ при вакуумной сушке (ВС) (остаточное давление 133 Па) и скорость удаления влаги из образцов (*б*).

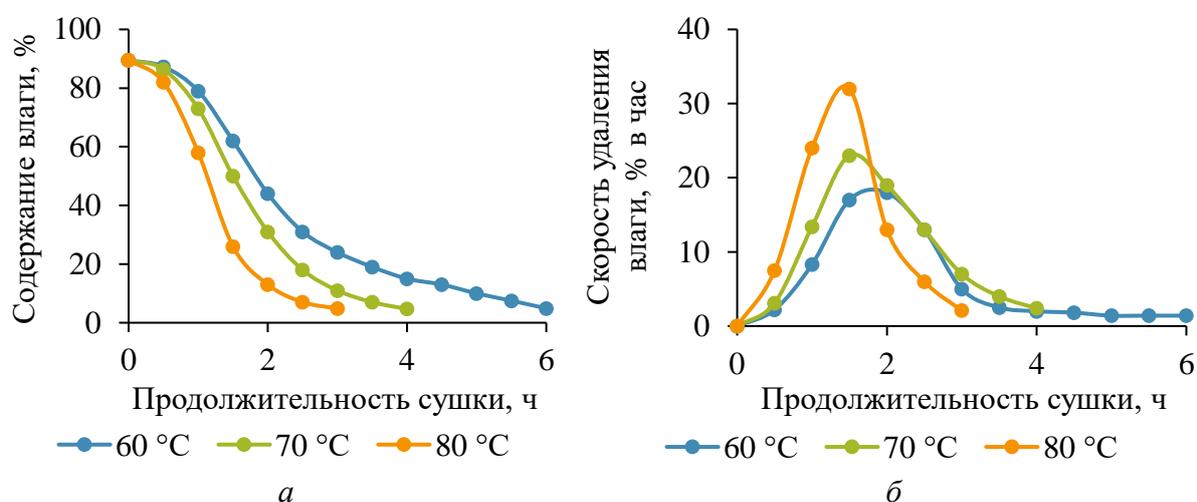


Рисунок 8 – Динамика процесса ВС КСИ

При исследовании процесса сушки КСИ в диапазоне $T = 60\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ экспериментально установлена потеря каротиноидов 4–8% от исходного содержания в ТП (рисунок 9). При 60 °C и 70 °C потери каротиноидов сопоставимы, но увеличение T до 70 °C позволяет сократить длительность сушки на 2 ч.

На рисунке 10 визуализирована разработанная технология СКСИ для последующего использования в составе пищевых систем.

Далее исследовали цвет и цветовые различия по цветовым координатам ТП (таблица 4, рисунок 11).

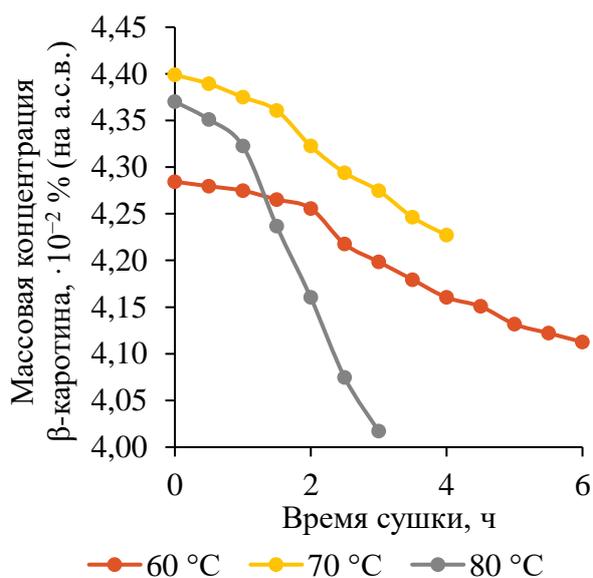


Рисунок 9 – Динамика убыли β -каротина при ВС КСИ

Таблица 3 – Физико-химические показатели КСИ Россиянка ($n = 5, M \pm m$)

Показатель	Значение (на а. с. в.)
М. д. сахаров, %	$7,39 \pm 0,09$
М. д. крахмала, %	Не определяется
М. д. белка, %	$0,04 \pm 0,01$
М. к. β -каротина, мг/100 г	$4,53 \pm 0,09$



Рисунок 10 – Блок-схема производства СКСИ

Из таблицы 4 видно, что показатели светлоты образцов имели в основном значимые различия ($p < 0,05$). Установлено, что на изменения показателя светлоты влияли все исследуемые факторы – сорт, технология и их взаимодействие (сила влияния соответственно 71,6; 28,0 и 0,3 %, $p < 0,01$). Наилучшими показателями светлоты отличались образцы из сорта Улыбка (К1, К2, О2 – сохранность соответственно 92,2; 89,8 и 92,7 %), Россиянка (О1 – сохранность 95,6 %), наихудшими – образцы из сорта Грибовская зимняя (К1 – сохранность 87,7 %), Алтайская 47 (К2, О1 – сохранность соответственно 81,5 % и 94,2 %), Кустовая оранжевая (О2 – сохранность 88,4 %).

Продукция, полученная по технологии, предусматривающей ФМ сырья, отличалась лучшими показателями светлоты (в среднем 92,85 %), чем без него (в среднем 87,6 %), меньшими изменениями цветовых координат a^* (сохранность О1, О2 соответственно 87,9 % и 82,8 %, для К1, К2 – 66,7 % и 54,0 %). Аналогичную тенденцию отметили для изменений цветовых координат b^* : сохранность для К1, К2, О1 и О2 составила соответственно 88,9; 84,0; 94,8 и 90,9 %.

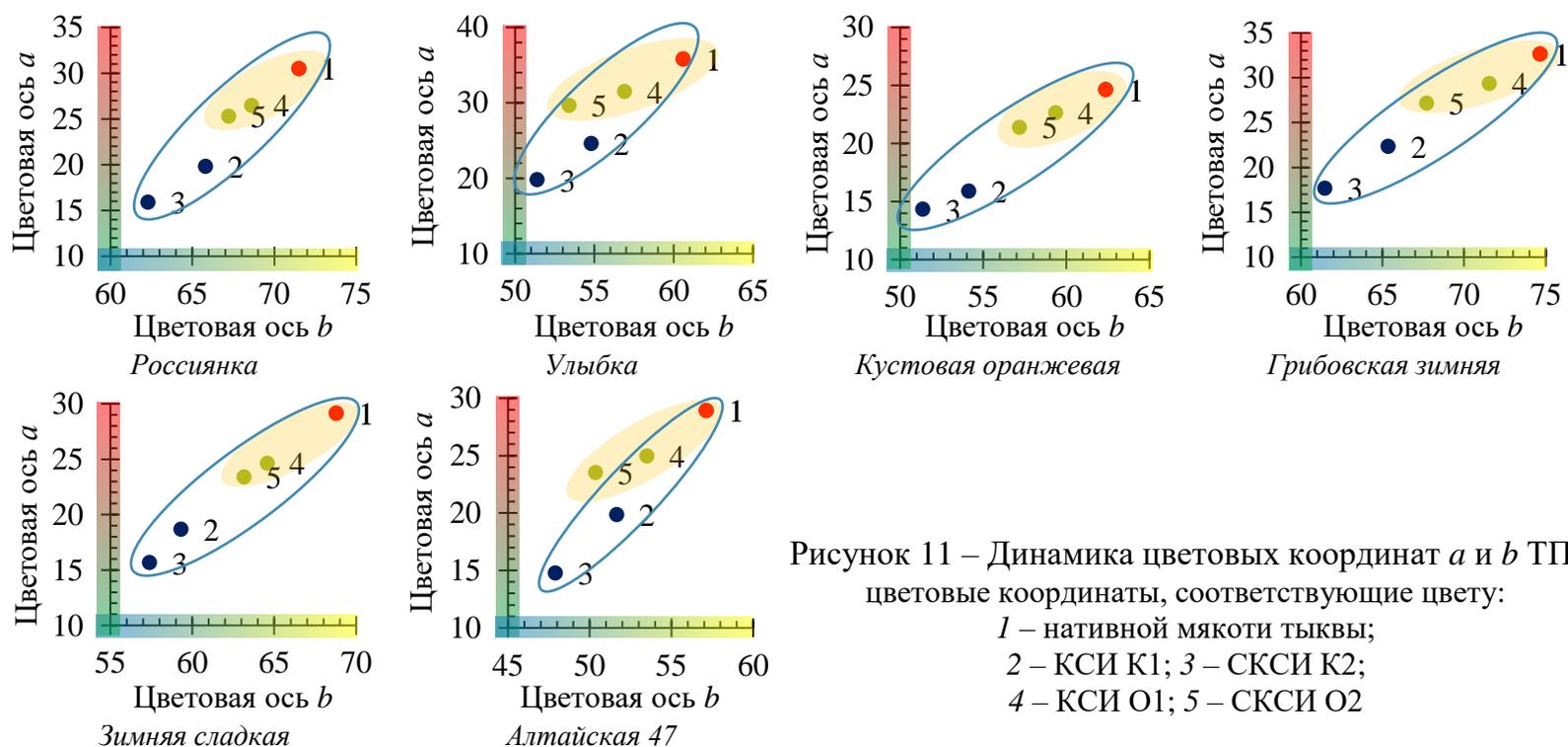
По экспериментальным данным (рисунок 12) установили, что на величину цветового различия в основном оказывала воздействие технология получения КСИ (сила влияния 98,6 %, $p < 0,01$), а не сорт сырья или их взаимодействие (сила влияния соответственно 0,8 % и 0,5 %, $p < 0,01$). Наименьшие потери значений отметили у продукции из сорта Кустовая оранжевая (43,9 %), наибольшие – Грибовская зимняя (55,2 %).

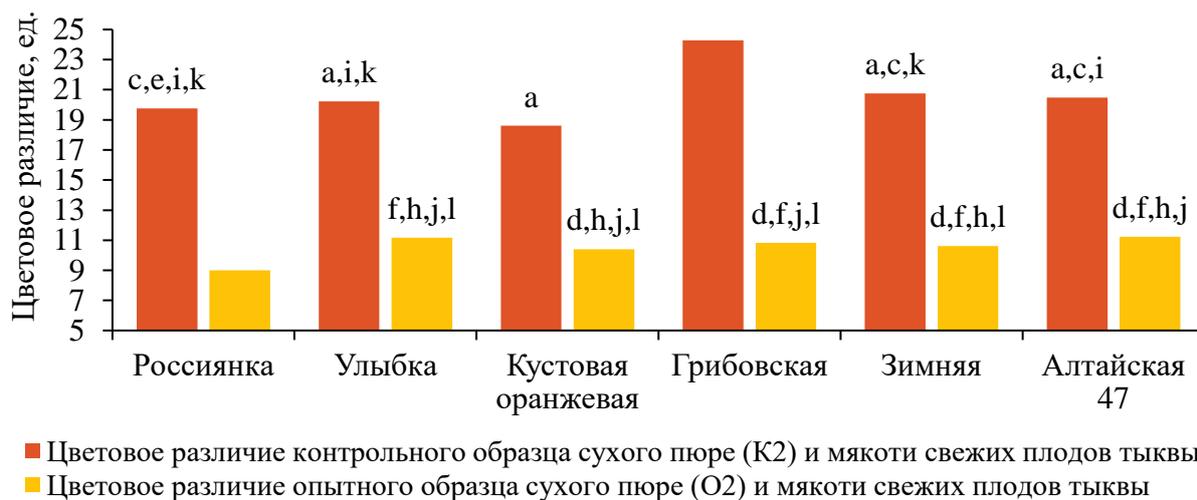
Продукция, полученная по технологии с ФМ сырья, отличалась меньшими изменениями насыщенности цвета (сохранность О2 – 89,5 %, а для К2 – 79,5 %).

Таблица 4 – Значения показателя светлоты пюре из тыквы ($n = 5, M \pm m$)

Сорт тыквы	Мякоть свежих плодов тыквы	Контрольные образцы		Опытные образцы	
		К1	К2	О1	О2
Россиянка (1–5)	$78,19 \pm 0,65^9$	$70,34 \pm 0,47^{14}$	$68,55 \pm 0,43^{15,16,29}$	$74,60 \pm 0,37^{7,10,11}$	$72,12 \pm 0,19^{8,14,26}$
Улыбка (6–10)	$81,19 \pm 1,50$	$74,88 \pm 0,47^{4,10,11}$	$72,96 \pm 0,46^{5,26}$	$77,55 \pm 0,29^1$	$75,27 \pm 0,36^{4,7,11}$
Грибовская зимняя (11–15)	$74,84 \pm 0,72^{4,7,10}$	$65,62 \pm 0,78^{27}$	$61,04 \pm 0,50^{17,20,28}$	$71,42 \pm 0,37^{2,5}$	$68,56 \pm 0,40^{3,16,29}$
Зимняя сладкая (16–20)	$67,61 \pm 0,71^{3,15,27,29}$	$60,36 \pm 0,62^{13,20}$	$56,71 \pm 0,54^{22}$	$63,96 \pm 0,37^{30}$	$60,70 \pm 0,44^{13,17}$
Алтайская 47 (21–25)	$62,49 \pm 0,60^{28}$	$55,95 \pm 0,82^{18,25}$	$50,91 \pm 0,43$	$58,84 \pm 0,39$	$55,36 \pm 0,59^{22}$
Кустовая оранжевая (25–30)	$72,85 \pm 1,41^{5,8}$	$66,60 \pm 0,62^{12,16}$	$61,92 \pm 0,35^{13,21}$	$68,79 \pm 0,39^{3,15,16}$	$64,48 \pm 0,26^{19}$

Примечание – Различия средних значений с разными надстрочными цифрами несутественны ($p < 0,05$).





Примечание – Различия средних значений с разными надстрочными буквами несутелственны ($p < 0,05$): Россиянка – а, b; Улыбка – с, d; Кустовая оранжевая – е, f; Грибовская зимняя – g, h; Зимняя сладкая – i, j; Алтайская 47 – k, l.

Рисунок 12 – Цветовые различия сухого пюре относительно мякоти свежих плодов тыквы

В опыте доказано, что ФМ ТП в выбранных условиях позволяет увеличить биодоступность каротиноидов на 25,91% в желудке и на 16,66% в кишечнике (рисунок 13), что обеспечивает более эффективное использование каротиноидов сырья в составе пищевых систем для реализации их доказанных терапевтических свойств.

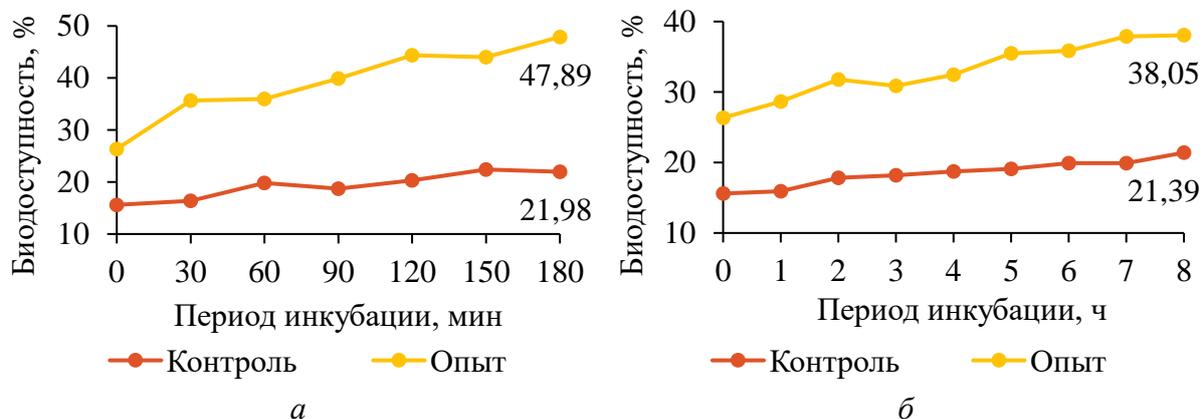


Рисунок 13 – Биодоступность каротиноидов образцов КСИ *in vitro* на моделях желудка (а) и кишечника (б)

В четвертой главе разработаны практические рекомендации по использованию СКСИ. Установлено, что ФМ положительно влияет на смачиваемость СКСИ – продолжительность сокращается на 30 с, насыпная плотность увеличивается на 20%; у опытного образца когезионная способность высокая, что обеспечит более плотную и пластичную структуру восстановленного пюре.

Практический интерес представляет исследование процесса регидратации образцов пюре, осуществляемого водой с $T = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 мин (таблица 5).

Таблица 5 – Физико-химические показатели регидратированного СКСИ из тыквы Россиянка ($n = 3, M \pm m$)

Показатель	Образец 1 (контроль)	Образец 2 (опыт)
М. д. сухих веществ, % (по ГОСТ 32742-2014 не менее 5 % для тыквы)	$11,10 \pm 0,87^{ab}$	$11,94 \pm 0,82^{ab}$
М. д. сахаров, % (на а. с. в.)	$5,42 \pm 0,07^a$	$7,16 \pm 0,13^b$
М. д. крахмала, % (на а. с. в.)	$3,56 \pm 0,21$	Не определяется
М. д. белка, % (на а. с. в.)	$1,21 \pm 0,16^a$	$0,24 \pm 0,06^b$
М. к. β -каротина, мг/100 г	$4,02 \pm 0,09^a$	$4,39 \pm 0,08^b$
Примечание – Различия средних значений с разными надстрочными индексами существенны ($p < 0,05$).		

Требования к качеству пюре приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели качества СКСИ

Показатель	Характеристика
Внешний вид и консистенция	Однородная мелкодисперсная масса с размером частиц не более 0,5 мм, без посторонних примесей
Вкус и запах	Свойственные термически обработанной мякоти тыквы, хорошо выраженные. Не допускаются посторонние привкус и запах
Цвет	Желтый, оранжевый, однородный по всей массе. Допускается незначительное изменение цвета/потемнение
М. д. влаги, %	Не более 4,50
М. к. β -каротина, мг/100 г	Не менее 4,00
М. д. минеральных примесей, %	Не более 0,05
Посторонние примеси	Не допускаются

По показателям безопасности СКСИ соответствует требованиям прил. 2 и 3 ТР ТС 021. Технические требования к СКСИ изложены в разработанных ТУ «Сухое ферментализованное тыквенное пюре».

Далее изучали технологическую пригодность СКСИ в составе пищевых систем: концентратов для приготовления напитков и первых блюд и КМН с оценкой их свойств.

В технологии ГН «Тыквенно-облепиховый смузи» подобрано количество СКСИ, позволяющего придать напитку характерные внешний вид и консистенцию (таблица 7). Для регидратации использована вода комнатной температуры.

Таблица 7 – Органолептические свойства регидратированных основ для ГН

Показатель	Содержание СКСИ в образце, %		
	9	12	15
Внешний вид	Однородная, не расслаивающаяся масса, желто-оранжевого цвета	Густая, однородная, не расслаивающаяся масса, желто-оранжевого цвета	Чрезмерно густая масса, не ассоциирующаяся с напитком, однородная, не расслаивающаяся масса, желто-оранжевого цвета
Запах	Свойственный, обусловленный сырьем		
Вкус	Водянистый с характерным вкусом тыквы	Сладковатый, приятный, характерный для тыквы	

Установлено, что дозировка СКСИ 12% оптимальна для использования в качестве основы для ГН. Это позволит удовлетворить до 20% от рекомендованной нормы потребления каротиноидов (5 мг/сут).

Добавление 5% сухого экстракта облепихи в рецептуру повысило вкусовые характеристики ГН, придав ему приятный кисло-сладкий вкус и аромат облепихи (таблица 8).

Таблица 8 – Физико-химические показатели регидратированного концентрата для приготовления ГН ($n = 3$, $M \pm m$)

Показатель	Фактическое значение	Предлагаемое значение для разработки НТД
М. д. сухих веществ, %	$18,8 \pm 0,2$	Не менее 17,0
М. д. органических кислот, %	$0,32 \pm 0,1$	Не менее 0,3
М. к. каротиноидов, мг/100 г	$1,06 \pm 0,07$	Не менее 1,0
М. к. полифенольных веществ, мг/100 г	$164,3 \pm 0,2$	–

Разработана рецептура концентрата первого блюда (опытный, образец 1) – супа-пюре на основе СКСИ, содержащая доступные и недорогие ингредиенты. Контролем являлись имеющиеся на рынке суп-пюре, схожие по составу с опытным. Оценка выбранных показателей проводили в ходе дегустации пять оценщиков (рисунок 14).

Образец 4 получил наивысший балл за приятный внешний вид, консистенцию, характерную для супа-пюре, развитый вкус и аромат.

Образец 1 по внешнему виду представлял собой однородную пюреобразную текучую массу без частиц, волокон, кожицы, семян, имел более выраженный оранжевый цвет, идеально однородную консистенцию, приятный запах и слабо-сладкий, приятный, гармоничный с тонами вареной тыквы вкус.

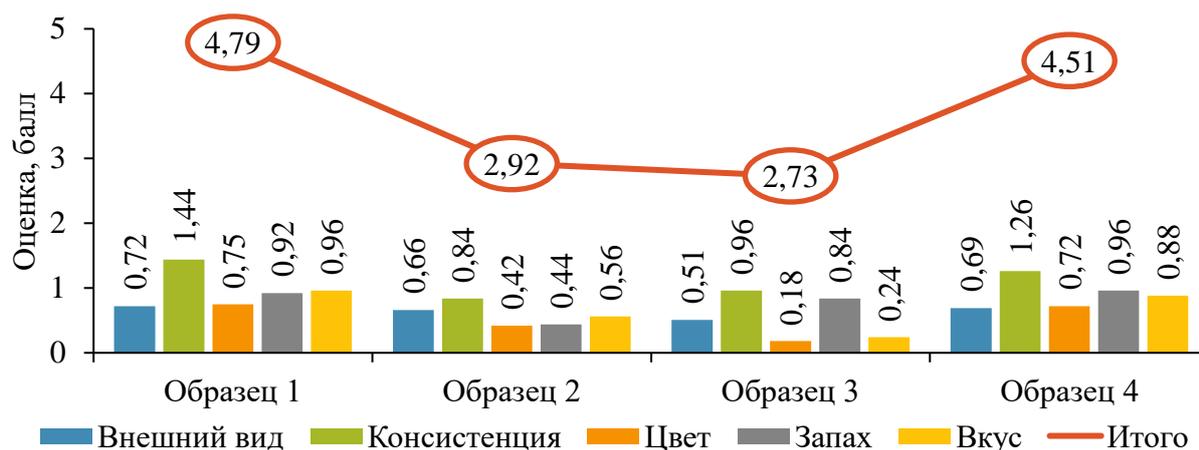


Рисунок 14 – Средний балл оценщиков с учетом коэффициентов весомости ($n = 5$)

Проведенные исследования позволили определить регламентированные значения показателей для разработки НТД (таблица 9).

Таблица 9 – Показатели качества супа-пюре на основе СКСИ ($n = 3, M \pm m$)

Показатель	Фактическое значение	Предлагаемое значение для разработки НТД
Внешний вид	Однородная пюреобразная текучая масса без частиц, волокон, кожицы, семян	Однородная пюреобразная текучая масса
Консистенция	Гомогенная	Гомогенная
Цвет	Оранжевый	Оранжевый различной интенсивности
Запах	Приятный, вареной тыквы	Приятный, вареной тыквы
Вкус	Слабосладкий, приятный, гармоничный, с тонами вареной тыквы	Сладковато-солончатый, с тоном вареной тыквы в послевкусии, гармоничный
М. д. влаги, %	$10,4 \pm 0,2$	Не более 12,0
М. д. жира, %	$5,2 \pm 0,1$	Не менее 4,0
М. к. каротиноидов, мг/100 г	$1,75 \pm 0,07$	Не менее 1,5

Получены образцы КМН: контрольный (без СКСИ), а также опытные – в составе 3; 5 и 7% СКСИ. По истечении первых 5 ч сквашивания во всех образцах отмечено образование сгустка, в опытных образцах он был более плотным, наблюдалась тенденция к крупинчатости, синерезис практически не наблюдался.

На рисунке 15 представлено нарастание кислотности в образцах КМН при его получении и дальнейшем хранении в течение 7 сут при $T = (5 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

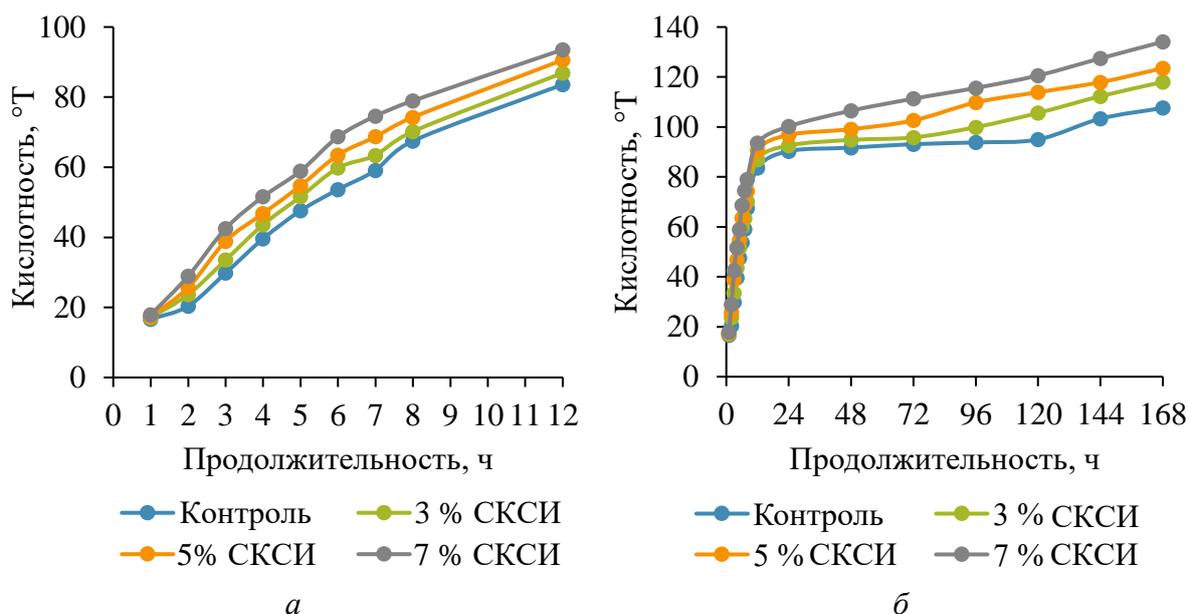


Рисунок 15 – Динамика титруемой кислотности в образцах КМН при сквашивании (а) и хранении (б)

В результате опробования наилучшим можно считать образец, содержащий 5 % СКСИ.

По результатам исследований установлены регламентированные показатели и их значения (таблица 10).

Таблица 10 – Регламентированные показатели качества КМН с СКСИ

Показатель	Предлагаемое значение показателя для разработки НТД (по ГОСТ 33491)
Консистенция и внешний вид	Однородная, вязкая, с нарушенным или ненарушенным сгустком
Вкус и запах	Чистые, кисломолочные, со вкусом тыквы, без посторонних привкусов и запаха
Цвет	Желтоватый, обусловленный добавлением пюре из мякоти тыквы, равномерный по всей массе
М. д. жира, %	0,1–9,9
М. д. белка, %	Не менее 2,8
Кислотность, °Т	75–140
М. д. каротиноидов, мг/100 г	Не менее 0,20

СКСИ как полуфабрикат для пищевых систем – сыпучий и гигроскопичный продукт, поэтому исследовали процесс хранения. Образцы СКСИ расфасовывали в zip-пакеты и хранили в течение 6 мес.: контрольный – при $T = (20 \pm 1)^\circ\text{C}$ и ОВВ 75 %, опытные – при $T = 35; 45$ и 55°C .

Установлено, что при хранении образцов при повышенной температуре практически отсутствуют значимые изменения в технологических показателях ($p < 0,05$).

Динамика убыли суммы каротиноидов при хранении СКСИ представлена на рисунке 16.

Зависимость константы скорости k от температуры T (К) можно выразить уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (2)$$

где T – температура хранения полуфабриката, К.

Сделан вывод, что соблюдение установленного в ТУ режима хранения СКСИ ($T = 0-25^\circ\text{C}$, $\text{ОВВ} \leq 65\%$, герметичная упаковка) позволит обеспечить сохранность каротиноидов и качество полуфабриката в течение срока хранения.

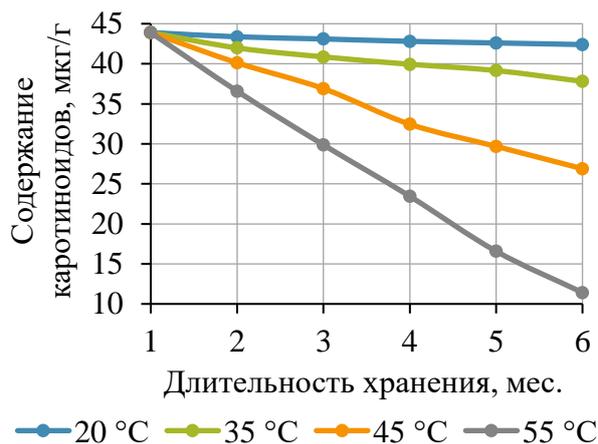


Рисунок 16 – Динамика убыли каротиноидов при хранении СКСИ

Заключение

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Исследованы факторы, формирующие качество нативного ТП и его безопасность. Установлено, что содержание сухих веществ в образцах мякоти составляет 8,29–11,22 %. Максимальное содержание каротиноидов (до 44 мкг/г) отмечено в сортах Алтайская 47, Россиянка и Кустовая оранжевая. В эксперименте подтверждена безопасность мякоти тыквы на соответствие требованиям ТР ТС 021, что обуславливает ее пригодность к использованию для получения полуфабрикатов и готовых блюд. Установлено, что наиболее опасной является группа биологических факторов (наличие патогенных микроорганизмов).

2. Разработана обучаемая модель для автоматического анализа изображений плодов тыквы для своевременного контроля сохранности, качества и безопасности. По результатам анализа программа выводит отчет с результатами, содержащий рекомендации по дальнейшим действиям, что позволит оперативно переработать некондиционные плоды.

3. Установлено, что в результате ФМ органолептические характеристики ТП существенно улучшаются: появляется сладость во вкусе, текстура приобретает однородность, при этом характерная для ТП крупинчатость устраняется. В эксперименте доказана эффективность использования следующих дозировок ФП: Амилоризин – 25 ед. АС/г сырья (обеспечивает полный гидролиз крахмала в течение 60 мин); Протозим – 5; 10 и 15 ед. ПС/г сырья. Доказано, что ВС (при остаточном давлении 133 Па) при темпера-

туре 70 °С позволяет получить продукт с конечной влажностью не более 5 % и с сохранением 96 % β -каротина от начального содержания в КСИ.

4. В результате выполненных исследований установлено, что предлагаемый способ переработки мякоти тыквы с использованием ФП снижает количество образуемого *цис*- β -каротина, что сказывается на цветовых характеристиках КСИ (снижение показателя светлоты с 7,3 % до 11,5 %).

5. Показано, что ФМ ТП в выбранных условиях позволяет увеличить *in vitro* биодоступность каротиноидов на 25,91 % в желудке и на 16,66 % в кишечнике по сравнению с контролем, обеспечивая более эффективное их использование в составе пищевых систем. Внесение СКСИ в стерилизованное молоко с инокулированной пробиотической закваской «Эвиталия» в первые 12 ч увеличивает скорость прироста биомассы в 1,43–3,21 раза. По сравнению с контролем удельная скорость роста пробиотиков в опыте с применением 5 % СКСИ выросла в 1,8 раза, а продолжительность генерации сократилась на 1,18 ч, что в совокупности позволило дополнительно вырастить семи поколениям пробиотиков.

6. Отмечено что ФМ положительно влияет на технологические свойства СКСИ: продолжительность смачивания сокращается на 30 с, насыпная плотность увеличивается на 20 %. В результате опытного хранения установлено, что деградация каротиноидов соответствует уравнению Аррениуса, что позволило определить энергию активации процесса распада каротиноидов и предэкспоненциальный множитель. Разработаны и апробированы рецептуры и технология с добавлением СКСИ: концентратов для приготовления ГН и супа-пюре, КМН, исследовано их качество и определены регламентированные значения показателей.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи в изданиях, входящих

в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий ВАК РФ

1. **Аббазова, В. Н.** Потери при производстве и хранении сельскохозяйственной продукции в свете устойчивого развития АПК / В. Н. Аббазова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. – Т. 14, № 1. – С. 106–112.

2. Рожнов, Е. Д. Высушенный ферментализованный полуфабрикат из мякоти тыквы как основа для пищевых систем / Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников, **В. Н. Аббазова**, В. Л. Захаров // Ползуновский вестник. – 2025. – № 1. – С. 58–68.

3. **Аббазова, В. Н.** Влияние ферментализованного тыквенного пюре на активность пробиотической микрофлоры и органолептические показатели кисломолочной продукции / В. Н. Аббазова, М. Н. Школьников, Д. А. Карх // Индустрия питания. – 2024. – Т. 9, № 4. – С. 51–57.

4. Рожнов, Е. Д. Направленный ферментализ мякоти тыквы как инструмент формирования качества полуфабрикатов / Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников, **В. Н. Аббазова** [и др.] // Вестник ВГУИТ. – 2024. – Т. 86, № 2. – С. 248–254.

5. Школьников, М. Н. Влияние загрязнения овощных культур на процессы хранения и переработки сельскохозяйственного сырья / М. Н. Школьников, **В. Н. Аббазова** // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13, № 1. – С. 90–95.

6. Школьников, М. Н. Исследование пищевого рациона студентов как предпосылка для разработки напитка из мякоти тыквы / М. Н. Школьников, **В. Н. Аббазова**, Е. Д. Рожнов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 1. – С. 66–71.

7. Школьников, М. Н. Исследование химического состава мякоти тыквы как основы для безалкогольных напитков / М. Н. Школьников, **В. Н. Аббазова** // Вестник МГТУ. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 441–449.

Публикации в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования

8. **Abbazova, V.** Application of resource-saving technologies in the process of processing agricultural raw materials and their waste / V. Abbazova, M. Shkolnikova, E. Rozhnov // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 537. – Art. 07008.

Прочие публикации

9. **Аббазова, В. Н.** Ферментализованное тыквенное пюре – основа для каротиноидсодержащих пищевых систем / В. Н. Аббазова, Е. Д. Рожнов // Промышленность и сельское хозяйство. – 2024. – № 11 (76). – С. 12–18.

10. **Аббазова, В. Н.** Перспективы развития агропромышленного комплекса Свердловской области в новых условиях / В. Н. Аббазова // Вектор экономики. – 2024. – № 12. – URL: <https://vectoreconomy.ru/images/publications/2024/12/regionaleconomy/Abbazova.pdf>.

11. Рожнов, Е. Д. Исследование возможности использования ферментализованного тыквенного пюре в технологии кисломолочных напитков / Е. Д. Рожнов, **В. Н. Аббазова** // Промышленность и сельское хозяйство. – 2024. – № 11 (76). – С. 31–36.

12. **Аббазова, В. Н.** Применение нейронных сетей и компьютерного зрения для оценки качества тыквы: обзор мировых тенденций и технологий / В. Н. Аббазова, А. А. Копнин, М. Н. Школьников, Е. Д. Рожнов // Дневник науки. – 2024. – № 12. – URL: https://dnevniknauki.ru/images/publications/2024/12/economy/Abbazova_Kopnin_Shkolnikova_Rozhnov.pdf.

13. **Аббазова, В. Н.** Управление качеством услуг и продукции в сетевом ритейле / В. Н. Аббазова, Д. А. Карх // Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Княгинино, 8–15 мая 2024 г.). – Княгинино : НГИЭУ, 2024. – С. 122–127.

14. Рожнов, Е. Д. Определение биодоступности каротиноидов тыквенного пюре методом *in vitro* / Е. Д. Рожнов, **В. Н. Аббазова** // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения : сб. науч. тр. XII Междунар. науч. конф. (Москва, 5–6 дек. 2024 г.). – М. : ВИЛАР, 2024. – С. 363–367.

15. **Аббазова, В. Н.** Перспективы применения ферментированного растительного сырья в пищевой промышленности / В. Н. Аббазова, М. Н. Школьников // LifeSciencePolytech : тез. докл. Всерос. науч. очно-заоч. конф. (Санкт-Петербург, 17–19 нояб. 2022 г.). – СПб. : СПбПУ, 2023. – С. 49.

16. **Аббазова, В. Н.** Государственное регулирование рынка инновационных растительных продуктов / В. Н. Аббазова, Д. А. Карх, М. Н. Школьников // Пища. Экология. Качество : тр. XIX Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 8–9 нояб. 2022 г.) – Новосибирск : СФНЦА РАН, 2022. – С. 11–15.

17. **Аббазова, В. Н.** Применение ферментных препаратов в технологии овощных напитков / В. Н. Аббазова // Конкурентоспособность территорий : материалы XXIV Всерос. экон. форума (Екатеринбург, 27–30 апр. 2021 г.) : в 4 ч. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2021. – Ч. 3. – С. 3–6.

18. **Аббазова, В. Н.** Влияние купажирования на вкусовые качества овощных соков / В. Н. Аббазова, М. Н. Школьников // Инновации в индустрии питания и сервисе : сб. IV Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 27 нояб. 2020 г.). – Краснодар : КубГТУ, 2020. – С. 566–568.

Результаты интеллектуальной деятельности

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687982. Программа для расчета содержания каротиноидов при ферментализации тыквенного пюре : опубл. 22.11.2024 / Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников, **В. Н. Аббазова.**

Список сокращений и условных обозначений

а. с. в. – абсолютно сухое вещество.

ВС – вакуумная сушка.

ГН – густой напиток.

КМН – кисломолочный напиток.

КСИ – каротиноидсодержащий ингредиент.

м. д. – массовая доля.

м. к. – массовая концентрация.

СКСИ – сухой каротиноидсодержащий ингредиент.

ТП – тыквенное пюре (пюре из мякоти тыквы).

ФМ – ферментативная модификация.

ФП – ферментный препарат.

Подписано в печать 04.04.2025.
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии
Уральского государственного экономического университета
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45