

Научная статья

УДК 547.458.88: 577.161

DOI: 10.17586/2310-1164-2026-19-1-30-38

## Влияние ферментативной обработки мезги, способа сушки выжимок и технологических параметров на содержание бета-каротина в порошках из морковных выжимок

А.С. Басковцева<sup>1\*</sup>, Н.В. Баракова<sup>1,2</sup>, Е.А. Самоделкин<sup>3</sup>, В.Б. Махновецкая<sup>2</sup>, А.Е. Афанасенко<sup>2</sup>,  
С.С. Борзов<sup>4</sup> Б.А. Джамалдинова<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, \**baskovtseva.ang@yandex.ru*

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
Россия, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Россия, Санкт-Петербург

<sup>4</sup>ВНИИ холодильной промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. Горбатова РАН, Россия, Москва

<sup>5</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. Миллионщикова, Россия, Грозный

**Аннотация.** Оценивали устойчивость β-каротина в порошках из морковных выжимок при моделировании технологических процессов производства пищевых продуктов. Изучено влияние ферментативной обработки и способа сушки морковных выжимок на структурные свойства порошков, а также влияние нагревания, замораживания и изменения pH среды на сохранность β-каротина. Исследовали три образца: порошок из морковных выжимок, необработанный ферментным препаратом и высушенный конвективным способом; порошок из морковных выжимок, обработанный ферментным препаратом пектолитического действия Fructozym MA и высушенный конвективным способом; порошок из морковных выжимок, обработанный ферментным препаратом пектолитического действия Fructozym MA и высушенный низкотемпературным вакуумным способом. Ферментативная обработка и способ сушки повлияли на дисперсный состав и гидратационные свойства. Средний размер частиц составил 238,3 мкм при конвективной сушке и 163,1 мкм при вакуумной. Максимальная степень набухания достигала 9,2 г/г для порошков конвективной сушки и 5,6 г/г для вакуумной, что свидетельствует о различной структуре и пористости материала. Гидратированные порошки (1:10) подвергали воздействию температуры до 100°C (моделирование выпечки), замораживанию до –18°C (условия хранения полуфабрикатов) и подкислению среды до pH 4,5 (условия сквашивания). Показано, что наибольшее содержание β-каротина сохранялось в образце, сочетавшем ферментативную обработку и конвективную сушку. Высокие температуры вызывали снижение содержания β-каротина, тогда как слабокислая среда обеспечивала его лучшую сохранность в сравнении с нейтральной. Рекомендуется использовать порошки из морковных выжимок, полученных из мезги, обработанной Fructozym MA и высушенной конвективным способом, при разработке продуктов, предусматривающих нагрев до 100°C, замораживание до –18°C или снижение pH до 4,5, поскольку данный вариант обеспечивает максимальную сохранность β-каротина.

**Ключевые слова:** пищевые биотехнологии; ферментативная обработка; конвективная сушка; вакуумная сушка; порошки из морковных выжимок; гидратационные свойства; бета-каротин

Original article

## Effect of pulp enzymatic treatment, pomace drying method, and processing parameters on beta-carotene content in carrot pomace powders

Angelina S. Baskovtceva<sup>1</sup>, Nadezhda V. Barakova<sup>1,2</sup>, Evgeniy A. Samodelkin<sup>3</sup>, Viktorya B. Makhnovetskaya<sup>2</sup>,  
Artem E. Afanasenko<sup>2</sup>, Sergey S. Borzov<sup>4</sup>, Birlant A. Jamalidina<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ITMO University, St. Petersburg, Russia, \**baskovtseva.ang@yandex.ru*

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Research Center "Kurchatov Institute" – Central Research Institute of KM "Prometey", St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup>All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry – branch of the FSC Food Systems n.a. Gorbатов, RAS,  
Moscow, Russia

<sup>5</sup>Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

**Abstract.** The study is aimed at evaluating the stability of β-carotene in carrot pomace powders under simulated food processing conditions. The influence of enzymatic treatment and drying methods on the structural properties of carrot pomace powders was investigated, as well as the effect of heating, freezing, and pH changes on β-carotene retention. Three samples were obtained: carrot pomace powder without enzymatic treatment and dried by convection; carrot pomace powder treated with the pectolytic enzyme preparation Fructozym MA and dried by convection; carrot pomace powder treated with the pectolytic enzyme preparation Fructozym MA and dried by low-temperature vacuum drying. Enzymatic treatment and drying method significantly affected particle size distribution and hydration properties. The mean

particle size was 238.3  $\mu\text{m}$  for convectively dried powders and 163.1  $\mu\text{m}$  for vacuum-dried powders. The maximum swelling capacity reached 9.2 g/g for convectively dried powders and 5.6 g/g for vacuum-dried powders, indicating differences in structural organization and porosity of the material. Hydrated powders (1:10 powder-to-water ratio) were subjected to heating up to 100°C (simulation of baking), freezing at -18°C (conditions typical for semi-finished product storage), and acidification to pH 4.5 (simulation of fermentation). Under all tested conditions, the highest  $\beta$ -carotene content was retained in Sample 2, combining enzymatic treatment with convective drying. Elevated temperatures led to a reduction in  $\beta$ -carotene content, whereas mildly acidic conditions provided better retention compared to neutral pH. It is recommended to use carrot pomace powders produced from mash treated with Fructozym MA and dried by convection in food formulations involving heating up to 100°C, freezing to -18°C, or pH reduction to 4.5, as this processing combination ensures maximum  $\beta$ -carotene retention.

**Keywords:** food biotechnology; enzymatic processing; convective drying; vacuum drying; carrot pomace powders; hydration properties; beta-carotene

## Введение

В условиях развития технологий переработки растительного сырья особый интерес представляет рациональное использование побочных продуктов пищевых производств, обладающих высоким содержанием биологически активных веществ. Морковные выжимки, образующиеся при переработке корнеплодов, являются перспективным вторичным сырьем, богатым каротиноидами, пищевыми волокнами, фенольными соединениями и минеральными компонентами [1, 2]. Среди каротиноидов доминирующее значение имеет  $\beta$ -каротин, обладающий провитаминой активностью и выраженными антиоксидантными свойствами [3].

Несмотря на высокое содержание  $\beta$ -каротина в моркови, его эффективность как функционального ингредиента ограничена низкой биодоступностью, обусловленной особенностями растительной матрицы. Значительная часть  $\beta$ -каротина локализована в хромопластах и физически связана с клеточными стенками, представленными целлюлозой, гемицеллюлозой и пектиновыми веществами. Интактная структура клеточных стенок затрудняет высвобождение каротиноидов как при аналитическом определении, так и в процессе пищеварения, что снижает их потенциальную физиологическую ценность [4].

Одним из перспективных подходов к интенсификации высвобождения биологически активных веществ является ферментативная обработка растительного сырья. Применение пектолитических ферментных препаратов способствует деструкции пектинового матрикса клеточных стенок, увеличению пористости материала и повышению доступности внутриклеточных компонентов. В научной литературе показано, что ферментативная обработка может привести к увеличению определяемого содержания каротиноидов за счет повышения их экстрагируемости, однако эффект существенно зависит от условий последующей технологической обработки, в частности режимов температуры, pH и способов сушки [5].

Сушка является необходимым этапом стабилизации морковных выжимок и получения порошкообразных продуктов, удобных для дальнейшего использования. Вместе с тем термические и окислительные воздействия, сопровождающие этот процесс, могут вызывать деградацию  $\beta$ -каротина, его изомеризацию и снижение антиоксидантной активности [6]. Разные способы сушки (конвективная и низкотемпературная вакуумная) характеризуются различной интенсивностью теплопереноса, уровнем воздействия кислорода и условиями формирования структуры высушенного материала, что обуславливает разную степень сохранности термолабильных соединений.

Помимо химического состава, важными характеристиками порошкообразных продуктов являются их структурно-функциональные и физико-технологические свойства, в частности степень набухания и гранулометрический состав. Эти параметры в значительной степени определяют поведение порошков при гидратации, взаимодействие с пищевой матрицей и потенциальную биодоступность биологически активных веществ [7]. Структурное состояние растительного сырья, включая размер частиц, степень разрушения клеточных стенок и распределение фракций по гранулометрическому составу, оказывает существенное влияние на процессы массопереноса и скорость высвобождения внутриклеточных соединений [8].

Ферментативная обработка растительного материала, помимо химического воздействия на полисахаридный комплекс клеточных стенок, приводит к выраженным морфологическим изменениям, включая ослабление межклеточных связей и фрагментацию клеточных агрегатов [9]. Эти изменения отражаются на гранулометрическом составе порошков и их способности к набуханию при гидратации. Повышенная степень набухания часто рассматривается как косвенный показатель доступности гидрофильных полисахаридов и уровня деструкции клеточных стенок, что может быть связано с облегченным высвобождением  $\beta$ -каротина и других биологически активных веществ [10].

Способы сушки оказывают существенное влияние и на формирование структуры частиц. Конвективная, как правило, сопровождается более выраженной усадкой, уплотнением и агломерацией частиц, тогда как низкотемпературная вакуумная сушка способствует формированию более пористой структуры материала с развитой удельной поверхностью [11, 12]. Эти структурные различия могут оказывать влияние как на сохранность биологически активных веществ, так и на функциональные свойства порошков, включая их способность к водопоглощению и диспергированию [8].

Цель настоящего исследования – изучение влияния методов сушки и ферментативной обработки морковных выжимок на набухаемость и гранулометрический состав полученных порошков, а также моделирование температурных и pH-условий технологических процессов для оценки изменения в них  $\beta$ -каротина.

### Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования использовали три образца порошков из морковных выжимок, высушенные разными способами, обработанные и необработанные ферментным препаратом:

- Образец 1 – порошок из морковных выжимок, необработанный ферментным препаратом, высушенный конвективным способом;
- Образец 2 – порошок из морковных выжимок, обработанный ферментным препаратом пектолитического действия Fructozym MA, высушенный конвективным способом;
- Образец 3 – порошок из морковных выжимок, обработанный ферментным препаратом пектолитического действия Fructozym MA, высушенный низкотемпературным вакуумным способом.

Порошки готовили из свежей моркови сорта «Нантская», выращенной в Воронежской области, урожаем 2024 года. Сырье подвергали первичной очистке, после чего измельчали до фрагментов длиной 1,0–1,2 см и толщиной 1–2 мм с использованием пищевого блендера Polaris PHB-1385 (Россия).

Ферментативную обработку морковной мезги проводили с применением пектолитического ферментного препарата Fructozym MA (ERBSLÖH Geisenheim GmbH, Германия), который вносили в виде водного раствора в количестве 0,07% от массы сырья. Данный процесс осуществляли при температуре 50°C в течение 60 мин на водяной бане в соответствии с сертификатом производителя. По завершении ферментативной обработки температуру водяной бани повышали до 90 ± 2°C и выдерживали образцы в течение 10 мин для инактивации ферментов. После обработки мезгу прессовали с целью отделения сока и получения морковных выжимок.

Сушку морковных выжимок осуществляли конвективным и низкотемпературным вакуумным способами. Конвективную проводили в сушильном шкафу ULAB UT-4610 (Китай) при температуре 50°C до достижения остаточной влажности не выше 6 ± 2%, равномерно распределяя сырье слоем около 1 мм. Низкотемпературную вакуумную сушку выполняли на лабораторной установке Hetosicc (Дания) при температуре 25 ± 2°C и пониженном давлении. В камере создавали остаточный вакуум на уровне 50 мбар, что соответствует условиям мягкой вакуумной сушки и обеспечивает снижение температуры кипения влаги. Толщина слоя образцов составляла 5 ± 0,2 мм, конечная влажность – 5–8%. Контроль температуры осуществляли термометром ТРМ-200 ОБЕН (Россия) (с допустимой погрешностью ±0,5%), значение вакуума фиксировалось электронным вакуумметром Мерадат-ВИТ14Т3 (Россия).

Для получения порошков высушенные выжимки дополнительно измельчали на дезинтеграторе Desi-11 (Эстония). Полученные порошки хранили в герметичных контейнерах в сухом и темном месте при комнатной температуре.

Гранулометрический состав порошков определяли методом лазерной дифракции на анализаторе Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Великобритания).

Степень набухания выжимок определяли гравиметрическим методом [13] на лабораторной центрифуге RHON-1412D (Китай). Навеску образцов массой  $1,0 \pm 0,1$  г помещали в предварительно взвешенные центрифужные пробирки и добавляли  $10 \text{ см}^3$  дистиллированной воды. Образцы термостатировали при температуре  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Через фиксированные интервалы времени (5–40 мин) образцы центрифугировали при скорости 3000 об/мин в течение 5 мин, после чего определяли массу и объем набухшего осадка.

Для исследования влияния температурных и pH-режимов на содержание  $\beta$ -каротина полученные порошки морковных выжимок предварительно гидратировали дистиллированной водой при гидромодуле 1:10 (масса : объем). Объем суспензии для каждого образца составлял  $10,3 \text{ см}^3$ . Гидратированные образцы подвергали различным режимам физико-химического воздействия. В рамках температурных экспериментов суспензии нагревали при температуре 50 и  $100^\circ\text{C}$  в течение 40 мин, используя термостатируемую водяную баню, и подвергали замораживанию при температуре  $-18^\circ\text{C}$  в течение 5 ч и  $-45^\circ\text{C}$  в течение 40 мин до достижения температуры  $-18^\circ\text{C}$  в термическом центре образца. Замораживание образцов при температуре  $-45^\circ\text{C}$  проводили на компрессионно-термоэлектрическом криостате «Миконта-МТ» (Россия). Температура в термическом центре образца измерялась двухканальным термометром Wahl TM-500 (США).

Для изучения влияния кислотности среды гидратированные образцы выдерживали в буферных растворах с pH 4,5 или 6,5 в течение 1 ч при температуре  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Значения pH контролировали на лабораторном pH-метре и при необходимости корректировали добавлением растворов HCl или NaOH.

Определение содержания  $\beta$ -каротина выполняли в соответствии с ГОСТ ISO 6558-2-2019 спектрофотометрическим методом, основанном на экстракции  $\beta$ -каротина смесью петролейного эфира и ацетона, его очистке методом колоночной хроматографии и последующем измерении оптической плотности экстракта на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (ООО «ЭКРОСХИМ», Россия).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием двухвыборочного  $t$ -критерия Стьюдента для независимых выборок; различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ ,  $n = 2$ . Расчеты выполняли с использованием программного пакета Microsoft Excel.

## Результаты и обсуждение

Гранулометрический состав порошков из морковных выжимок является одной из ключевых характеристик, определяющих их функциональные и физико-технологические свойства, включая способность к гидратации, набуханию и высвобождению биологически активных веществ. Размер частиц и удельная площадь поверхности в значительной степени зависят как от предварительной обработки растительного сырья, так и от условий последующей сушки, которые влияют на степень разрушения клеточных структур и формирование пористой структуры материала.

Ферментативная обработка пектолитическими препаратами способствует деструкции пектинового матрикса клеточных стенок, ослаблению межклеточных связей и повышению хрупкости высушенного материала, что потенциально облегчает процесс измельчения и приводит к уменьшению среднего размера частиц. В свою очередь, способ сушки определяет интенсивность структурных изменений: конвективная сушка сопровождается более выраженной усадкой и уплотнением, тогда как вакуумная при пониженных температурах способствует сохранению пористой структуры и предотвращает агломерацию частиц.

В связи с этим провели оценку гранулометрического состава порошков из морковных выжимок, полученных из необработанной и ферментативно обработанной мезги, высушенной конвективным и вакуумным способами, данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Гранулометрический состав порошков из морковных выжимок

Table 1. Particle size distribution of carrot pomace powders

| Наименование показателей                                 | Образец 1         | Образец 2        | Образец 3         |
|--|-------------------|------------------|-------------------|
| Средний объемно-взвешенный размер частиц в порошках, мкм | $238,271 \pm 0,1$ | $196,30 \pm 0,1$ | $153,077 \pm 0,1$ |
| Удельная площадь поверхности, $\text{м}^2/\text{г}$      | 0,0241            | 0,0228           | 0,0353            |

Анализ данных показал существенную зависимость гранулометрического состава порошков как от применения ферментативной обработки, так и от способа сушки мезги. Для Образца 1, полученного из необработанных выжимок и высушенного конвективным способом, характерен наибольший средний объемно-взвешенный размер частиц, составивший  $238,271 \pm 0,1$  мкм, что свидетельствует о более плотной и устойчивой структуре материала, менее подверженной разрушению при измельчении.

Внесение ферментного препарата Fructozym MA в дозе 0,07% от массы сырья при конвективной сушке привело к снижению среднего размера частиц в Образце 2 до  $196,30 \pm 0,1$  мкм. Данный эффект обусловлен ферментативной деструкцией пектиновых веществ клеточных стенок, что способствует ослаблению структурной целостности материала и повышает его диспергируемость при механическом измельчении.

Наиболее выраженные изменения гранулометрических характеристик наблюдали в Образце 3, подвергнутого ферментативной обработке и высушенного вакуумным способом. Средний размер частиц составил  $153,077 \pm 0,1$  мкм, а удельная площадь поверхности достигла максимального значения —  $0,0353$  м<sup>2</sup>/г. Увеличение удельной поверхности указывает на формирование более пористой и разрыхленной структуры материала, что характерно для низкотемпературной вакуумной сушки, сопровождающейся минимальной усадкой и ограниченным окислительным воздействием.

Таким образом, сочетание ферментативной обработки мезги и вакуумной сушки способствует формированию порошков с более мелким размером частиц и развитой удельной поверхностью. Полученные структурные характеристики могут положительно влиять на функциональные свойства порошков, в том числе на степень их набухания и потенциальную доступность β-каротина, что будет рассмотрено далее.

На следующем этапе исследовали изменение содержания β-каротина в порошках, которые вносятся в пищевые системы, подвергающиеся воздействию высоких и низких температур и низкому рН. Учитывая, что внесение предварительно гидролизированных плодоовощных порошков наиболее эффективно [14], определяли время, в течение которого порошки в процессе гидратирования достигнут максимальной степени набухания. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке 1.

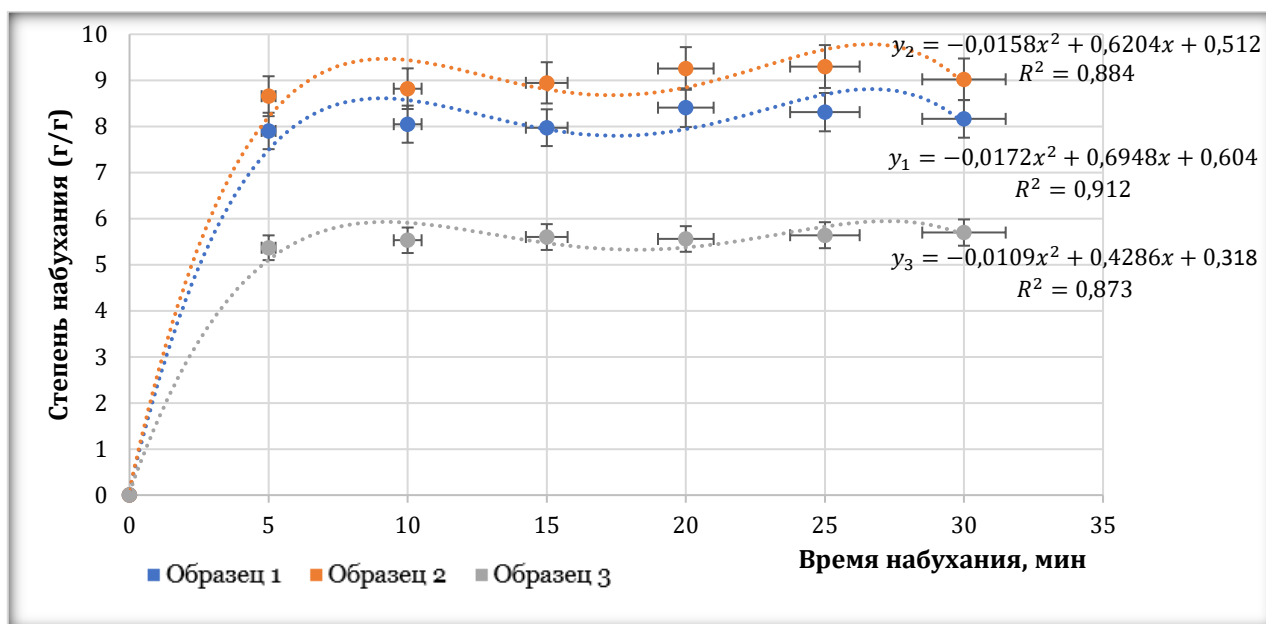


Рисунок 1 – Степень набухания порошков из морковных выжимок  
 Figure 1. Swelling capacity of carrot potasse powders

Анализ кинетики набухания показал, что для всех исследуемых порошков характерно быстрое увеличение степени набухания на начальном этапе с последующим выходом на плато, что свидетельствует о достижении предельного значения набухания. После 20–25 мин выдержки дальнейшее увеличение массы набухшего порошка практически не наблюдается.

Наибольшие значения предельной степени набухания характерны для порошков, высушенных конвективным способом. Так, Образец 1 достигает максимальной степени набухания 8,41 г/г, тогда

как Образец 2 демонстрирует высшее значение — 9,26 г/г. Увеличение степени набухания в Образце 2 по сравнению с Образцом 1 указывает на положительное влияние ферментативной обработки, приводящей к частичному разрушению пектиновых структур и повышению гидрофильности порошка. В то же время Образец 3 характеризуется существенно меньшей предельной степенью набухания — 5,70 г/г. Это может быть обусловлено формированием более плотной и менее пористой структуры частиц при вакуумной сушке, что ограничивает доступ воды к гидрофильным группам биополимеров.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что как ферментативная модификация, так и выбор способа сушки являются эффективными инструментами управления функциональными свойствами порошков из морковных выжимок, в частности их способностью к набуханию.

Структурные преобразования, выявленные на предыдущих этапах исследования, определяют не только физико-технологические свойства порошков, но и их поведение в составе пищевых систем. В реальных условиях использования морковные порошки подвергаются различным видам технологического воздействия — нагреванию при выпечке и тепловой обработке продуктов, замораживанию при производстве мясных полуфабрикатов, а также воздействию кислой среды при сквашивании и ферментации. Каждое из этих воздействий способно изменить стабильность и доступность таких липофильных биологически активных веществ, как  $\beta$ -каротин. Повышенные температуры могут инициировать изомеризацию и окислительную деградацию каротиноидов; циклы замораживания — вызывать дополнительную деструкцию клеточных структур и перераспределение внутриклеточных компонентов; понижение pH до 4,5, характерное для кисломолочных и ферментированных систем, способно влиять на устойчивость каротиноидов и их взаимодействие с компонентами матрицы. Таким образом, оценка содержания  $\beta$ -каротина в условиях варьирования температуры и кислотности позволяет смоделировать поведение порошков в типичных технологических процессах и спрогнозировать сохранность биологически активных веществ при практическом применении.

На следующем этапе исследования изучали влияние повышенной температуры (моделирование процессов выпечки), замораживания (имитация хранения и использования в мясных полуфабрикатах) и кислой среды (pH 4,5, моделирование сквашивания) на содержание  $\beta$ -каротина в гидратированных порошках из морковных выжимок, полученных различными способами сушки, с применением и без применения ферментативной обработки. Результаты представлены на рисунке 2а–2в.

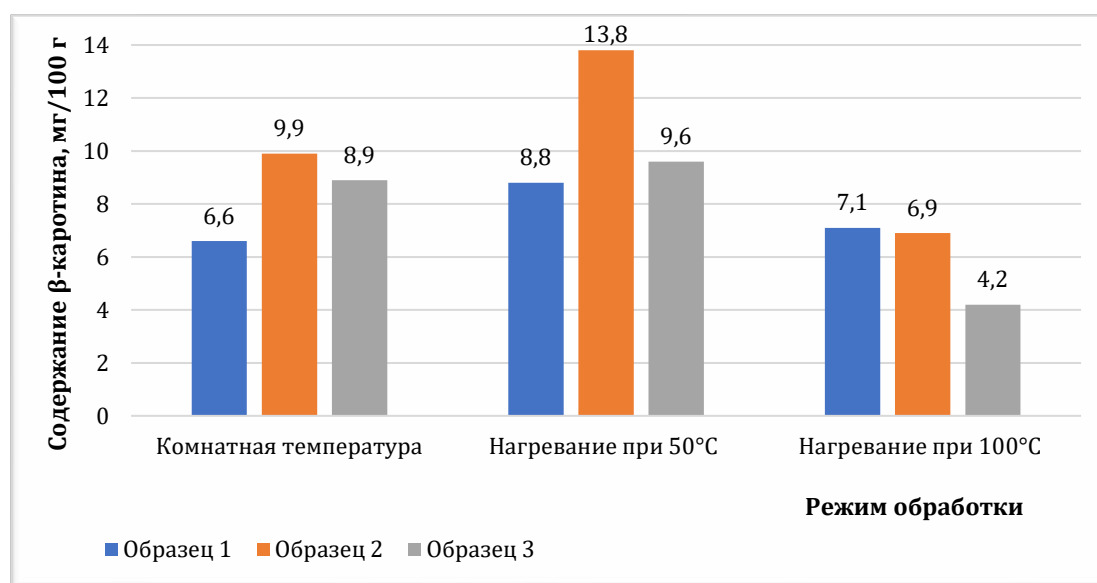


Рисунок 2а – Влияние режимов температуры на содержание  $\beta$ -каротина в гидратированных порошках из морковных выжимок: нагревание

Figure 2a. Effect of temperature regimes on  $\beta$ -carotene content in hydrated carrot pomace powders

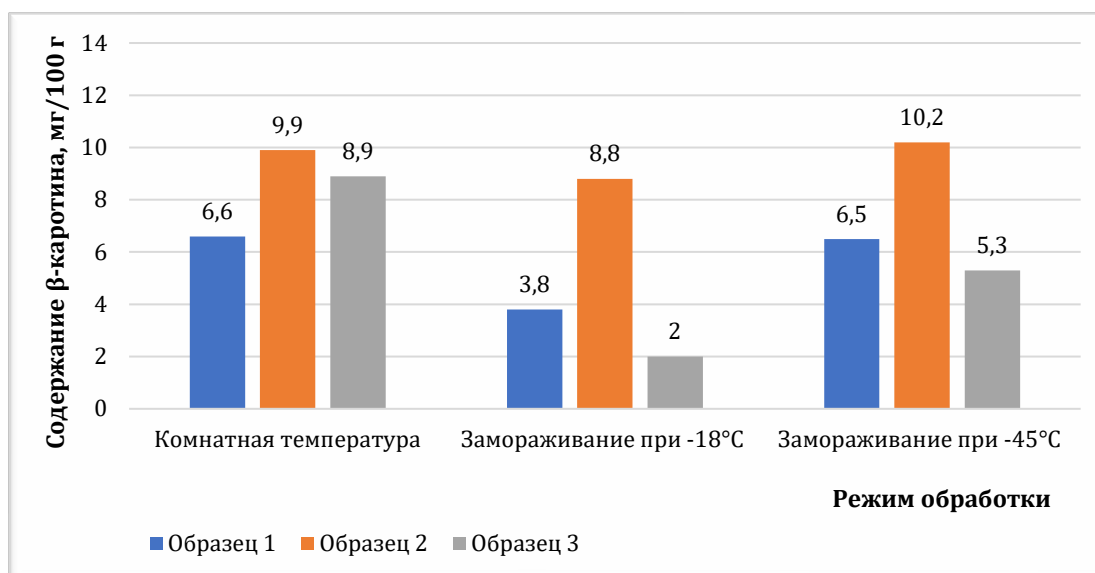


Рисунок 2б – Влияние режимов температуры на содержание β-каротина в гидратированных порошках из морковных выжимок: замораживание

Figure 2б. Effect of temperature regimes on β-carotene content in hydrated carrot pomace powders

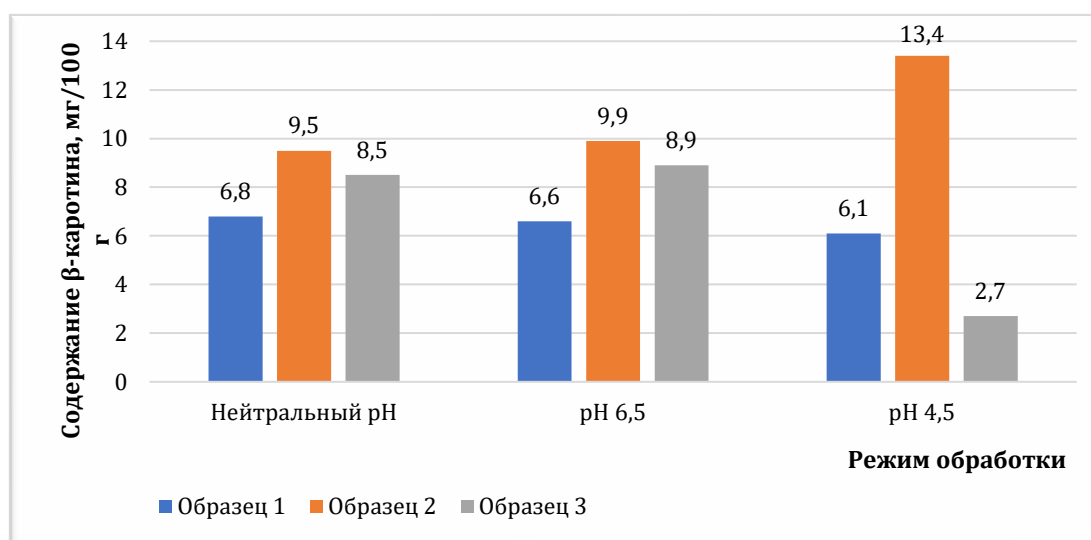


Рисунок 2в – Влияние режимов pH на содержание β-каротина в гидратированных порошках из морковных выжимок

Figure 2в. Effect of pH regimes on β-carotene content in hydrated carrot pomace powders

Установлено, что ферментативная обработка морковной мякоти пектолитическим препаратом Fructozym MA во всех исследованных режимах увеличивает определяемое содержание β-каротина в сравнении с необработанными образцами. Умеренный температурный режим в сочетании с ферментативной деструкцией клеточных стенок способствует эффективному высвобождению каротиноидов без их значимой термической деградации [15].

Повышение температуры обработки до 100°C привело к снижению содержания β-каротина, особенно в образцах, высушенных вакуумным способом. Вероятно, это связано с термоокислительной деградацией и изомеризацией β-каротина, которые усиливаются при высоких температурах, несмотря на пониженное парциальное давление кислорода при вакуумной сушке.

Замораживание гидратированных образцов при -18°C обеспечивало лучшую сохранность β-каротина по сравнению с высокотемпературным нагреванием, однако уступало режиму нагрева при 50°C в сочетании с ферментативной обработкой. Низкотемпературная обработка образцов при -45°C не оказала негативного влияния на образцы, высушенные конвективным способом, однако так же снизила содержание β-каротина в образцах, высушенных низкотемпературным вакуумным способом.

Это можно объяснить отсутствием дополнительного разрушения клеточных стенок, несмотря на формирование микроповреждений тканей при кристаллизации воды.

Анализ влияния pH показал, что обработка в слабокислой среде (pH 4,5) обеспечивает более высокое содержание  $\beta$ -каротина в сравнении с нейтральными условиями (pH 6,5–7,0), особенно в образцах, обработанных ферментным препаратом. Данный эффект объясняется, с одной стороны, оптимальными условиями действия пектолитических ферментов, а с другой — повышенной химической стабильностью  $\beta$ -каротина в кислой среде. В нейтральных условиях наблюдалось снижение содержания каротиноида, что согласуется с научными данными о повышенной чувствительности каротиноидов к окислению при более высоких значениях pH [16].

В целом результаты эксперимента показали, что сочетание ферментативной обработки, умеренных температур (около 50°C), слабокислой среды и конвективной сушки является наиболее рациональным с точки зрения сохранения и высвобождения  $\beta$ -каротина из морковных выжимок. Полученные данные согласуются с современными представлениями о роли структурной деструкции растительной матрицы и технологических факторов в формировании содержания и доступности каротиноидов.

## Заключение

При включении порошков из морковных выжимок в рецептуры продуктов, технология которых предусматривает повышение температуры до 100°C, рекомендуется использовать порошки, приготовленные из морковных выжимок, полученных из мезги, обработанной ферментным препаратом Fructozym MA и высушенных конвективным способом. При включении порошков из морковных выжимок в рецептуры мясных или рыбных полуфабрикатов, технология которых предусматривает замораживание до –18°C, рекомендуется использовать порошки из морковных выжимок, полученных из мезги, обработанной Fructozym MA и высушенных конвективным способом. При включении порошков из морковных выжимок в кисломолочные продукты, pH которых по мере созревания сгустка снижается с pH 6,5 до 4,5, рекомендуется так же использовать порошки из морковных выжимок, полученных из мезги, обработанной Fructozym MA и высушенных конвективным способом.

## Литература/References

1. Richards J., Lammert A., Madden J., Kang I., Amin S. Physical Treatments Modified the Functionality of Carrot Pomace. *Foods*. 2024, V. 13, no. 13, article 2084. DOI: 10.3390/foods13132084
2. Nisar N., Li L., Lu S., Khin N.C., Pogson B.J. Carotenoid metabolism in plants. *Molecular Plant*. 2015, V. 8, no. 1, pp. 68–82. DOI: 10.1016/j.molp.2014.12.007
3. Нилова Л.П., Потороко И.Ю. Каротиноиды в растительных пищевых системах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2021. Т. 9. № 4. С. 54–69. DOI: 10.14529/food210407  
Nilova L.P., Potoroko I.Yu. Carotenoids in plant food systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*. 2021, V. 9, no. 4, pp. 54–69. DOI: 10.14529/food210407 (In Russian)
4. Biehler E., Hoffmann L., Krause E., Bohn T. Divalent minerals decrease micellarization and uptake of carotenoids and digestion products into Caco-2 cells. *J Nutr*. 2011, V. 141, no. 10, pp. 1769–1776. DOI: 10.3945/jn.111.143388
5. Zeng X., Wang H., Fan Z., Li Q., Li H., Xi Y., Jiang W., Cao J., Liu B., Li J. Recent advances in the applications of different technologies in the processing of ready-to-eat fruit and vegetable products to improve their freshness, quality and safety: A review. *Food Control*. 2025, V. 178, article 111503. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111503
6. Wu Y., Liu L., Jia Y., Feng C.-H., Zhang H., Ren F., Zhao G. Effects of thermal processing on natural antioxidants in fruits and vegetables. *Food Res Int*. 2024, V. 192, article 114797. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114797
7. Mařová A., Hegedúsová A., Andrejiová A., Hegedús O., Golian M., Šlosár M., Lidiková J., Lořák T. Evaluation of storage and freezing, baking, and boiling treatments on total carotenoids content in the fruits of selected *Cucurbita moschata* Duch. varieties. *Journal of Food Quality*. 2021, article 5584652. DOI: 10.1155/2021/5584652
8. Karam M., Petit J., Zimmer D., Baudelaire E., Scher J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*. 2016, V. 188, pp. 32–49. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001
9. Soini S.A., Domingo N., Özparpucu M., Windeisen-Holzhauser E., Gulec S., Merk V. Nanoscale examination of chemical and enzymatic degradation of plant cell walls. *Biomacromolecules*. 2025, V. 26, no. 12, pp. 8630–8640. DOI: 10.1021/acs.biomac.5c01551



10. Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications. *Food Chemistry*. 2011, V. 124, no. 2, pp. 411–421. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.077
11. Shahar A., Wan Azman W.M.F., Mohd Ramli S.H. Effect of different drying processing method on the physicochemical properties of watermelon powder. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*. 2022, V. 3, no. 2. DOI: 10.36877/aafrij.a0000305
12. Refas I., Amiali M., George O.A., Le K.H., Malekjani N., Kharaghani A. Bioactive composition, microstructure, and physicochemical properties of *Arbutus unedo* berries dried using different techniques. *Journal of Stored Products Research*. 2025, V. 111, article 102501. DOI: 10.1016/j.jspr.2024.102501
13. Алексеева Т.В., Е.А. Загорюлько, Родионова Н.С., Корыстин М.И., Иванников А.В., Зяблов М.М. Исследование процесса набухания жмыха зародышей пшеницы // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-6. С. 1324–1328.  
Alekseeva T.V., Zagorulko E.A., Rodionova N.S., Korystin M.I., Ivannikov A.V., Zyablov M.M. Study of the swelling process of wheat germs cake. *Fundamental Research*. 2013, no. 6-6, pp. 1324–1328. (In Russian)
14. Тихий А.В., Баракова Н.В., Самodelкин Е.А. Обоснование эффективности применения гидратированных порошков моркови и свеклы в технологии опары для бараночных изделий // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 1. С. 125–130. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-125-130  
Tikhyy A.V., Barakova N.V., Samodelkin E.A. The effectiveness of using hydrated carrot and beet powders in the production of round cracknels sourdough. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022, V. 84, no. 1, pp. 125–130. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-125-130 (In Russian)
15. Demir Y., Dikmetas D.N., Acar E.G. Enzyme and ultrasound pretreatments to improve extraction of carotenoids from industrial carrot waste. *ACS Agricultural Science & Technology*. 2025, V. 5, Is. 9, pp. 1879–1888. DOI: 10.1021/acscagcitech.5c00327
16. Boon C.S., McClements D.J., Weiss J., Decker E.A. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2010, V. 50, Is. 6, pp. 515–532. DOI: 10.1080/10408390802565889

#### Информация об авторах

Ангелина Станиславна Басковцева – аспирант образовательного центра Энергоэффективные инженерные системы  
Надежда Васильевна Баракова – канд. техн. наук, доцент, ведущий аналитик межфакультетской лаборатории Трансляционные технологии в образовании; доцент кафедры технологии микробиологического синтеза  
Евгений Александрович Самodelкин – ведущий научный сотрудник  
Виктория Борисовна Махновецкая – студент кафедры технологии микробиологического синтеза  
Артем Евгеньевич Афанасенко – студент кафедры технологии микробиологического синтеза  
Сергей Сергеевич Борзов – младший научный сотрудник  
Бирлант Абдулаева Джамалдинова – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий продуктов питания и бродильных производств

#### Information about the authors

Angelina S. Baskovtceva, Postgraduate Student at the Educational Center "Energy Efficient Engineering Systems"  
Nadezhda V. Barakova, Ph. D. (Eng.), Associate Professor, a Leading Analyst in the Division of the Interfaculty Laboratory "Translation Technologies in Education"; Associate Professor Department of Microbiological Synthesis Technology  
Evgeniy A. Samodelkin, Leading Researcher  
Viktorya B. Makhnovetskaya, Student of the Department of Microbiological Synthesis Technology  
Artem E. Afanassenko, Student of the Department of Microbiological Synthesis Technology  
Sergey S. Borzov, Junior Research Fellow  
Birlant A. Jamalidina, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of Food and Fermentation Industries

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 21.01.2026  
Одобрена после рецензирования 27.02.2026  
Принята к публикации 02.03.2026

The article was submitted 21.01.2026  
Approved after reviewing 27.02.2026  
Accepted for publication 02.03.2026