

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-342-349>



Поступила 06.04.2023

Поступила после рецензирования 23.08.2023

Принята в печать 08.08.2023

© Кондратьев Н. Б., Руденко О. С., Казанцев Е. В., Белова И. А. Петрова Н. А., 2023

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

## ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СОХРАННОСТИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПЕНООБРАЗНОЙ СТРУКТУРЫ

Кондратьев Н. Б.\*, Руденко О. С., Казанцев Е. В., Белова И. А. Петрова Н. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АННОТАЦИЯ

*пастильные кондитерские изделия, влагоперенос, массовая доля влаги, активность воды, структурообразователи, глазурь, срок годности, инфракрасная спектроскопия, входной контроль*

Кондитерские изделия пенообразной структуры, такие как пастила и зефир, являются востребованными среди различных групп потребителей. Расширение ассортимента и рынков сбыта требует обеспечения качества таких изделий при их транспортировке, хранении, а также повышения их срока годности. Закономерности изменения показателей качества позволяют установить дополнительные требования к ним для повышения сохранности таких изделий. Процессы влагопереноса являются преобладающими при хранении кондитерских изделий пенообразной структуры и обуславливают их черствение или увлажнение. Поэтому необходимо оценить влияние различных факторов на показатели качества в процессе хранения зефира. Проведены исследования влияния различных структурообразователей, таких как агар, пектин, желатин, на направление и скорость процессов влагопереноса при хранении образцов зефира. Показана возможность применения метода инфракрасной спектроскопии для оценки качества структурообразователей при входном контроле. Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара, за 10 недель хранения при температуре 18 °С уменьшилась на 3,5%. За этот период массовая доля влаги зефира, изготовленного с применением пектина в качестве структурообразователя, уменьшилась на 2,5%, в то время как в зефире, приготовленном на основе желатина, массовая доля влаги снизилась только на 1,2%. Таким образом, добавление желатина позволяет уменьшить скорость влагопереноса ориентировочно в 2–3 раза. Низкая скорость влагопереноса зефира обусловлена влагоудерживающими свойствами белковой структуры желатина. Для прогнозирования скорости процессов влагопереноса в образцах зефира, изготовленных с использованием различных структурообразователей и хранившихся при различных температурах, рассчитаны коэффициенты диффузии. Наименьший коэффициент диффузии определен у зефира, изготовленного с добавлением пектина, а наибольший — у образца на основе желатина. Однако у зефира из желатина наблюдается самая низкая фактическая скорость влагопереноса, поскольку градиент активности воды минимальный — 7,6%. При повышении температуры хранения зефира, изготовленного с добавлением различных структурообразователей, с 18 °С до 28 °С скорость влагопереноса увеличилась. У зефира, произведенного на основе агара, этот показатель возрос в 2,7 раза; у образца из пектина — в 3,0 раза; у зефира на основе желатина — только в 1,5 раза. Полученные результаты позволяют прогнозировать риски изменений качества зефира в процессе хранения.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0007 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 06.04.2023

Accepted in revised 23.08.2023

Accepted for publication 28.08.2023

© Kondratev N. B., Rudenko O. S., Kazantsev E. V., Belova I. A., Petrova N. A., 2023

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

## JUSTIFYING THE USE OF STRUCTURE-FORMING AGENTS TO INCREASE STORABILITY OF CONFECTIONERY PRODUCTS WITH THE FOAMY STRUCTURE

Nikolay B. Kondratev\*, Oxana S. Rudenko, Egor V. Kazantsev, Irina A. Belova, Natalia A. Petrova

All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry, Moscow, Russia

**KEY WORDS:**

*pastille confectionery, moisture transfer, mass fraction of moisture, water activity, structure-forming agent, icing, shelf life, infrared spectroscopy, incoming inspection*

**ABSTRACT**

Confectionery products with the foamy structure such as pastila and zefir (Russian marshmallow-like confectioneries) are in demand among various consumer groups. The expansion of the range and sales markets requires ensuring quality of such products during their transportation, storage, as well as increasing their shelf life. The patterns of change in quality indicators allow establishing additional requirements for them to improve storability of such products. Moisture transfer processes are predominant during storage of confectionery products with the foamy structure and define their hardening or moistening. Therefore, it is necessary to evaluate the influence of various factors on quality indicators during storage of zefir. Studies have been carried out to determine the influence of various structure-forming agents, such as agar, pectin, gelatin, on the direction and rate of moisture transfer processes during storage of zefir samples. The possibility of using the method of infrared spectroscopy for assessing quality of structure-forming agents during incoming inspection is shown. The mass fraction of moisture in zefir made using agar decreased by 3.5% after 10 weeks of storage at a temperature of 18 °C. During this period, the mass fraction of moisture in zefir made using pectin as a structure-forming agent decreased by 2.5%, while in zefir prepared on the basis of gelatin, the mass fraction of moisture decreased only by 1.2%. Thus, the addition of gelatin makes it possible to reduce the rate of moisture transfer by approximately 2–3 times. The low moisture transfer rate of zefir is due to the water-holding properties of the protein structure of gelatin. Diffusion coefficients were calculated to predict the rate of moisture transfer processes in zefir samples made using various structure-forming agents and stored at different temperatures. The lowest diffusion coefficient was determined in zefir made with the addition of pectin, while the highest diffusion coefficient was in the

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Казанцев, Е. В., Белова, И. А., Петрова, Н. А. (2023). Обоснование использования структурообразователей для повышения сохранности кондитерских изделий пенообразной структуры. *Пищевые системы*, 6(3), 342–349. <https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-342-349>

FOR CITATION: Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Kazantsev, E. V., Belova I. A., Petrova N. A. (2023). Justifying the use of structure-forming agents to increase storability of confectionery products with the foamy structure. *Food Systems*, 6(3), 342–349. <https://doi.org/10.21323/2618-97712023-6-3-342-349>

sample based on gelatin. However, zefir made from gelatin had the lowest actual moisture transfer rate, since the gradient of the water activity was minimal (7.6%). With an increase in the storage temperature of zefir made with the addition of various structure-forming agents from 18 °C to 28 °C, the rate of moisture transfer increased. In zefir produced on the basis of agar, this indicator increased by 2.7 times, in the sample from pectin by 3.0 times; in zefir based on gelatin by only 1.5 times. The results obtained make it possible to predict the risks of changes in zefir quality during storage.

FUNDING: The article was published as part of the research topic № FGUS-2022–0007 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

## 1. Введение

На сохранность кондитерских изделий пенообразной структуры оказывают влияние значения показателей влагопереноса, химический состав изделий, температура хранения, свойства упаковочных материалов, относительная влажность окружающего воздуха.

Зефир является излюбленным продуктом среди различных групп потребителей. Для расширения ассортимента и рынков сбыта необходимы гарантии качества таких изделий при их транспортировке и хранении, а также увеличение срока годности товаров. Закономерности изменения показателей качества позволяют установить дополнительные требования к показателям качества для повышения сохранности таких изделий. Процессы влагопереноса являются преобладающими при хранении кондитерских изделий пенообразной структуры и обуславливают их черствение или увлажнение. Поэтому необходимо оценить влияние различных факторов на показатели качества в процессе хранения зефира [1].

Пенообразные массы из-за содержания сухих веществ являются неустойчивыми пищевыми системами, подверженными быстрой коалесценции, которая обусловлена самопроизвольным разрушением каркаса пены в результате действия сил поверхностного натяжения. Для придания пищевой системе большей устойчивости используют горячие сахарные растворы, изготовленные с использованием структурообразователя [2].

При формировании зефирной массы пенообразной структуры используются различные структурообразователи, такие как пектины, агар, агароид, желатин, камеди и другие. При охлаждении зефирной массы каркас пены становится полутвердым и формирует характерную пенообразную структуру пастильных изделий, в том числе зефира [3].

Белки в качестве поверхностно-активных веществ в составе зефирной массы способствуют образованию адсорбционных слоев на поверхности пузырьков воздуха и обеспечивают их сохранность. Увеличение количества пузырьков приводит к сближению и деформации их поверхностей, а между соседними пузырьками на границе раздела газ-жидкость возникает вязкоупругие тонкие жидкие пленки (каналы Плато-Гиббса) [4].

Пенообразующая способность и стабильность зависят от состава, физико-химических свойств белка и от температуры получения пены. Казеин и сывороточный белок молока считаются основными поверхностно-активными веществами молока, ответственными за пенообразование [5]. При этом изменение pH также влияет на связывание молекул воды в пенных структурах [6].

Для оценки качества устойчивых пен используются следующие показатели: удельная площадь поверхности, скорость межфазного проскальзывания, коэффициент расширения и конечный предел текучести. Показатель активности воды используется для прогнозирования изменений реологических характеристик различных пищевых систем [7].

Полисахариды улучшают функциональные свойства белков благодаря различным взаимодействиям и факторам, таким как электростатическое и гидрофобное образование водородных связей [8].

Белково-полисахаридные структуры, в которых белок ковалентно присоединен к полисахариду посредством различных реакций, например, реакции Майяра, формируют и стабилизируют пищевые системы [9].

Ранее показано влияние концентрации полисахарида и жирового компонента на структурные и реологические свойства эмульсии, стабилизированной наночастицами, содержащими ксантановую камедь и лизоцим. Установлено, что добавление камеди уменьшает размер капель эмульсии, а между каплями в дисперсионной среде образовывается плотная трехмерная сетчатая структура, которая повышает устойчивость эмульсии [10].

Добавление органической кислоты в рецептурную массу значительно влияет на формирование пены при изготовлении кондитерских изделий пенообразной структуры. Исследовано поведение фазового разделения смесей яичного белка при значениях pH, соответствующих естественному pH белка (7,0) и при значениях ниже

его изоэлектрической точки (3,0). При pH 7,0 комплексообразование было выраженным, а комплексы флокулировали с образованием более крупных частиц. При pH 3,0 объем пены уменьшался, комплексы обладали повышенными твердостью и упругостью структуры [11].

Введение фруктозы в рецептурную смесь замедляет процесс студнеобразования, поскольку фруктоза имеет низкую гидратацию и снижает межфазное натяжение водных растворов. Это затрудняет ассоциацию и агрегирование молекул структурообразователя, а также существенно препятствует высыханию корпусов зефира в процессе хранения [12].

В качестве структурообразователей для изготовления зефира используют агар, пектин, желатин, камеди, модифицированные крахмалы и другие. Пектины относятся к важнейшим структурообразователям, в зависимости от происхождения они формируют пищевые системы с различными структурно-механическими свойствами [2].

Молекулы пектинов состоят, в основном, из остатка 1,4-D-галактуроновой кислоты и содержат гомогалактуронан, рамногалактуронан, ксилогалактуронан, алиогалактуронан, арабинан, галактан и арабиногалактан. В зависимости от источника, пектины различаются по размеру молекул, степени ацетилирования и метилирования, по содержанию 1,4-D-галактуроновой кислоты и нейтральных остатков сахара [13].

По происхождению различают натуральные гидроколлоиды животного (желатин, казеин, хитозан, сывороточный белок) и растительного происхождения (пектин, альгинаты, агар и агароиды, каррагинан, камеди, нативные крахмалы и т. д.) и полученные искусственно, в том числе из природных объектов (гидроксиметилцеллюлоза, натрий, карбоксиметилцеллюлоза, модифицированные крахмалы) [14].

Студнеобразующая способность агара зависит от длины цепочек их молекул, что определяется молекулярной массой. Молекулярная масса агара достигает 25000. Способность агара к студнеобразованию зависит от их природы и условий приготовления студней, температуры, pH среды, ее состава. При введении различных катионов можно изменять величину заряда высокомолекулярного аниона, а следовательно, и физико-химические свойства студней. Полученные пенной структуры зефира является сложным технологическим процессом вследствие наличия в рецептуре большого количества рецептурных компонентов, влияющих на свойства готового изделия, таких как сахар белый, патока, пектин, модифицированный крахмал и другие структурообразователи [15].

Крахмалы представляют собой полисахариды, состоящие из глюкозных звеньев, соединенных гликозидными связями. Нативные крахмалы образуют аморфные эластичные пасты при нагревании и гели с высокой способностью к синерезису при охлаждении. Крахмалы отличаются по влагоудерживающей способности. Модифицированные крахмалы используются в производстве мучных кондитерских изделий с фруктовыми начинками, десертов, восточных сладостей (рахат-лукум), пастиль, зефира, карамели, кремов, фруктовых полуфабрикатов и других [16].

Желатин оказывает значительное влияние на процессы влагопереноса и на соотношение форм связи влаги в зефире, препятствует образованию зародышей кристаллов сахарозы в зефирной массе и замедляет скорость их роста. Взаимодействие между структурообразователями и водой зависит от количества и типа гидрофильных, гидроксильных, амидных и карбоксильных групп и от наличия полярных групп. Компоненты с сильными внутри- и межмолекулярными взаимодействиями в случае пектинов в основном с водородными связями и гидрофобными взаимодействиями требуют внесения определенного количества воды для разрыва водородных связей и для начала процесса связывания воды. Доступность влаги может дополнительно зависеть от конформации молекулы и от результирующего положения полярных групп [17].

Присутствие примесей в составе структурообразователей может влиять на их свойства. В кондитерской отрасли востребованы методы оценки структурно-механических свойств структурообразователей, например, методы Блума и Валента. Однако отсутствуют

методы, позволяющие оценить технологические свойства структурообразователей путем качественного анализа их химического состава по наличию химических групп. Поэтому авторами работы [18] предложен метод инфракрасной спектроскопии в средней инфракрасной области (4000–400 см<sup>-1</sup>), позволяющий исследовать химический состав и внутренние молекулярные взаимодействия структурообразователей. Метод позволяет также оценить содержание жира, трансизомеризованных жирных кислот, белка, массовую долю общей влаги и др.

Важным показателем для прогнозирования срока годности различных кондитерских изделий, позволяющим оценить скорость потери влаги в процессе хранения изделий, является коэффициент диффузии D [19]:

$$D \approx - \frac{AQ \times l}{A \times \Delta t \times (c_2 - c_1)} \quad (1),$$

где:

$AQ$  — количество продифундировавшей влаги, г;

$A$  — площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  — длительность процесса влагопереноса, с;

$l$  — толщина упаковочной пленки, м;

$c_2$  — содержание влаги в паровой фазе окружающего воздуха, г/м<sup>3</sup>;

$c_1$  — содержание влаги в паровой фазе в упаковке изделия, г/м<sup>3</sup>.

Обеспечение сохранности кондитерских изделий пенообразной структуры, одним из элементов которой является срок годности продукта, — наиболее важная задача для кондитерских предприятий. Проводятся многочисленные работы, направленные на повышение сохранности изделий. Например, зефир, для изготовления которого используется крахмальная патока, характеризуется высокой степенью связанности влаги, что позволяет продлить срок его хранения до шести месяцев [20]. Повышение количества сухих веществ в пюре приводит к увеличению плотности изделия, а снижение количества сахара белого в рецептуре изделий обуславливает уменьшение плотности пастильной массы и потерю ее формы в процессе сушки. Введение в рецептуру пищевых волокон оказывает существенное влияние на скорость процессов влагопереноса [21].

Результаты исследований факторов, влияющих на изменения качества кондитерских изделий различных наименований, позволяют обосновать дополнительные требования к показателям качества и безопасности используемых полуфабрикатов и сырья. Это позволит повысить конкурентоспособность кондитерских изделий, а также разнообразить ассортимент выпускаемой пищевой продукции.

Таким образом, проведено большое количество исследований, направленных на формирование кондитерских изделий пенообразной структуры с различным химическим составом. При этом комплексный подход оценки влияния структурообразователей на сохранность таких кондитерских изделий, включающий методики прогнозирования изменений их химического состава и технологической приемлемости, в настоящее время отсутствует.

Поэтому целью данной работы было установление влияния различных структурообразователей на качество зефира в процессе хранения.

## 2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись модельные образцы зефира, изготовленные в лабораторных условиях с заданным рецептурным составом на основе различных структурообразователей: агара различных производителей — образец № 1 (страна происхождения Чили), № 2 (Китай) и № 3 (Италия), пектина высокометоксилированного — образец № 4 (Китай), желатина говяжьего — образец № 5 (Китай) (Таблица 1).

Рабочие рецептуры модельных образцов зефира с использованием различных структурообразователей рассчитаны в соответствии с классическими рецептурами пастильных изделий по унифицированному сборнику «Рецептуры на мармелад, пастилу и зефир» для кондитерской промышленности и требованиями ГОСТ 6441–2014 к составу.

Зефирная масса изготовлена механическим способом с физико-химическими, органолептическими и реологическими показателями в соответствии с требованиями ГОСТ 6441–2014<sup>1</sup>. Она обладала высокой стойкостью пены, состоящей из пузырьков воздуха размером 50–100 мкм. Это позволило изготовить образцы зефира с заданной формой, соответствующие требованиям ГОСТ 6441–2014 по физико-химическим показателям качества и по идентификационным признакам. Массовая доля фруктового сырья в соответствии

с ГОСТ 6441–2014 должна быть не менее 11%, массовая доля влаги — не более 25%, при этом плотность зефира не должна превышать 0,6 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 1. Рабочие рецептуры зефира

Table 1. Working recipes for zefir

Наименование сырья и полуфабрикатов	Расход сырья на 1000 г зефира, г		
	на агаре	на яблочном пектине	на желатине
Рецептура зефира			
Сахар белый	321,65	321,64	261,5
Пюре яблочное	200,0	200,0	200,0
Белок яичный разведенный	64,9	64,6	64,9
Сироп с агаром	538,0	—	—
Сахаро-паточный сироп	—	534,4	606,0
Пектин яблочный	—	10,0	—
Лактат натрия	—	13,5	—
Желатин	—	—	30,0
Кислота молочная	6,0	6,0	—
рецептура сиропа			
Сахар белый	346,45	347,8	363,5
Патока	138,8	142,44	150,0
Агар	10,0	—	—
Лимонная кислота, 50%-й р-р	—	—	6,5
белок яичный разведенный			
Белок яичный сухой	8,55	23,04	8,55
Вода	56,45	56,44	56,45

Зефир, изготовленный на основе исследованных структурообразователей, глазировали шоколадной глазурью, содержащей 55,6% какао-продуктов.

Массовая доля влаги была измерена по ГОСТ 5900–2014<sup>2</sup>. Предел воспроизводимости результатов при  $P = 0,95$  составлял 0,5%. Активность воды измеряли в соответствии с ГОСТ ISO 21807–2015<sup>3</sup>, основным на определении «точки росы» на приборе AquaLab (США), модель 3TE. Предел повторяемости должен соответствовать стандартному отклонению  $0,002 s_{n-1}$  для диапазона значений  $a_w$ , от 0,999 до 0,600.

Образцы упаковывали в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм. Хранение образцов зефира в течение 10 недель было проведено в климатической камере Climacell 404 (BMT Medical Technology s. r. o., Чехия), в термостате Mir 262 (Sanyo, Япония) при традиционной температуре 18 °С и в условиях ускоренного хранения при температуре 28 °С для установления количественного влияния температуры на скорость процессов влагопереноса. Относительная влажность воздуха составляла 50%.

Исследования инфракрасных спектров водных растворов агара проведены с помощью инфракрасного спектрофотометра IRAffinity-1 (Shimadzu, Япония), методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с преобразованием Фурье. Для каждого спектра было сделано 20 сканирований с разрешением сканирования 4,0 и частотой сканирования 1 скан в секунду. Для этого 5% водные растворы образцов агара выдерживали в течение 40 мин и наносили тонким слоем на поверхность кюветы приставки НПВО. Далее проводили измерения инфракрасных спектров растворов.

Математическую обработку полученных результатов производили с использованием программы Excel 2019. Доверительный уровень был определен на основе 5 параллельных измерений в соответствии с критерием Стьюдента. В качестве контролируемых показателей рассматривались массовая доля влаги и активность воды. Проверка адекватности уравнений регрессии проводилась с применением F-критерия Фишера, рассчитанным на основе коэффициентов корреляции при уровне статистической достоверности  $p \leq 0,05$ .

<sup>2</sup> ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. Москва: Стандартинформ, 2019. — 16 с.

<sup>3</sup> ГОСТ ISO 21807–2015. Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды. Москва: Стандартинформ, 2016. — 15 с.

<sup>1</sup> ГОСТ 6441–2014. Изделия кондитерские пастильные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019. — 8 с.

### 3. Результаты и обсуждение

При изготовлении кондитерских изделий пенообразной структуры (зефир, пастила, маршмеллоу и др.) используются структурообразователи, различающиеся химическим составом и свойствами.

Среди применяемых структурообразователей при изготовлении зефира агар различных производителей является наиболее востребованным видом сырья для отечественных пастильных кондитерских изделий. Партии агара различаются своими влагоудерживающими свойствами.

Поэтому были исследованы показатели влагопереноса образцов зефира, приготовленного с использованием агара, из различных источников (образцы 1, 2, 3). Образцы были упакованы в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм и хранились при традиционной температуре 18 °С (см. Рисунок 1).

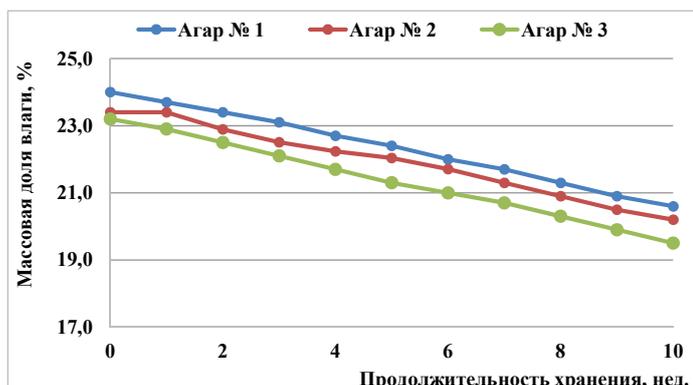


Рисунок 1. Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара, в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С

Figure 1. Mass fraction of moisture in zephyr made using agar depending on the storage time at a temperature of 18 °С

Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара из различных источников, приблизительно одинакова и зависит от исходного значения массовой доли влаги.

Установлены математические зависимости изменения массовой доли влаги зефира, приготовленного с применением образцов агара из различных источников. Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость образца агара № 2  $W = -0,33 \tau + 23,58$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297).

Скорость влагопереноса наименьшая для зефира, изготовленного с использованием этого студнеобразователя. Математические зависимости изменения массовой доли влаги других образцов зефира:  $W = -0,34 \tau + 24,07$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297) для агара № 1 и  $W = -0,37 \tau + 23,22$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297) для агара № 3.

Активность воды зефира, изготовленного с использованием агара из различных источников, соответственно снижается при хранении (Рисунок 2).

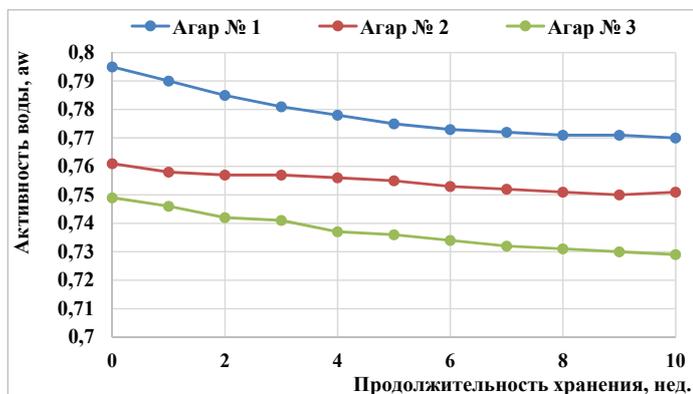


Рисунок 2. Активность воды зефира, изготовленного с использованием агара из различных источников, в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С

Figure 2. Water activity of zephyr made using agar from various sources depending on the storage time at a temperature of 18 °С

Активность воды зефира, изготовленного на основе агара из различных источников, находится в диапазоне 0,80–0,75 и зависит от свойств зефира. Незначительное увеличение массовой доли влаги обуславливает соответствующее увеличение активности воды.

После 10 недель хранения зефира массовая доля влаги уменьшилась на 3,2%–3,7% с 22,9%–23,7% до 19,5–20,6%, при этом активность воды снижается незначительно, до 0,77–0,73. Такие изменения показателей влагопереноса позволяют сохранять высокие органолептические характеристики зефира за указанный период хранения.

Определены математические зависимости изменения активности воды зефира, изготовленного с использованием образцов агара. Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость образца, изготовленного с применением агара № 2:  $a_w = -0,001 \tau + 0,760$  ( $R^2 = 0,95$ ; F-критерий Фишера = 57), где  $a_w$  — активность воды, а  $\tau$  — длительность хранения (недели). Математические зависимости активности воды образцов зефира на основе агара № 1:  $a_w = -0,0024 \tau + 0,790$  ( $R^2 = 0,89$ ; F-критерий Фишера = 24,2); агара № 3:  $a_w = -0,002 \tau + 0,747$  ( $R^2 = 0,96$ ; F-критерий Фишера = 72).

Таким образом, скорость процессов влагопереноса зефира, изготовленного с использованием агара № 2, наименьшая по сравнению с зефиром, изготовленным с добавлением других образцов агара. Различная скорость влагопереноса зефира, приготовленного на основе агара из различных источников, может быть связана с различиями химического состава использованных образцов агара.

Полученные результаты соответствуют выводам работы, направленной на повышение сохранности пастильных кондитерских изделий функционального назначения на основе агара. Подтверждено увеличение срока годности зефира, упакованного в барьерную пленку, до 9 месяцев [22].

Для выявления причин, влияющих на скорость потерь влаги, проведены исследования инфракрасных спектров водных растворов агара, полученного из различных источников и использованного для дальнейшего изготовления зефира (Рисунок 3).

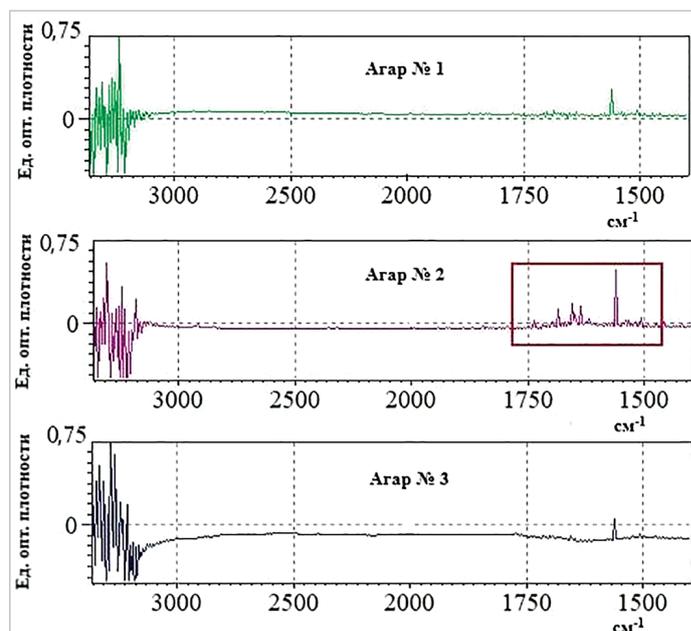


Рисунок 3. Инфракрасные спектры 5% растворов образцов агара в средней ИК-области

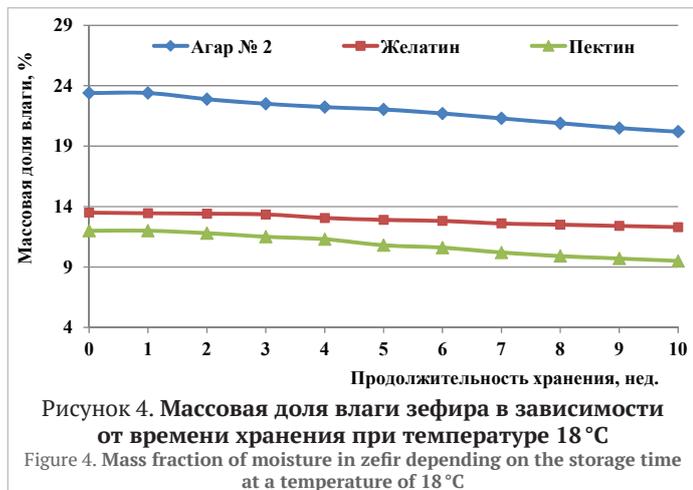
Figure 3. Infrared spectra of 5% solutions of agar samples in the mid-infrared region

На основании полученных данных можно допустить, что относительно высокая влагоудерживающая способность образца агара № 2 обусловлена наличием белка в его химическом составе. Авторы предполагают, что поглощение в области длин волн 1700–1500 см<sup>-1</sup> инфракрасных спектров обусловлено наличием амидных групп (N–H) и (C=O) белковых молекул в составе агара. Наибольшая высота пиков поглощения раствора агара № 2 соответствует уровню максимального содержания белковых веществ, что прогнозирует наименьшую скорость влагопереноса в образцах зефира. Поэтому образец агара № 2 с наибольшей влагоудерживающей способностью использован в дальнейших исследованиях.

Аналогичные результаты установлены авторами работы [23] при исследовании поглощений групп атомов N–H структурообразователей в областях длин волн 1700–1600 см<sup>-1</sup> и 1565–1520 см<sup>-1</sup> инфракрасных спектров. Показано, что увеличение высоты пиков в этих областях спектра прямо пропорционально повышению концентрации амидных групп молекул белковой природы. Присутствие белковых

молекул усиливает способность структурообразователей к удержанию гидроксильных групп воды.

Проведены исследования влияния различных структурообразователей, таких как агар, пектин, желатин, на изменения массовой доли влаги при хранении зефира (Рисунок 4).



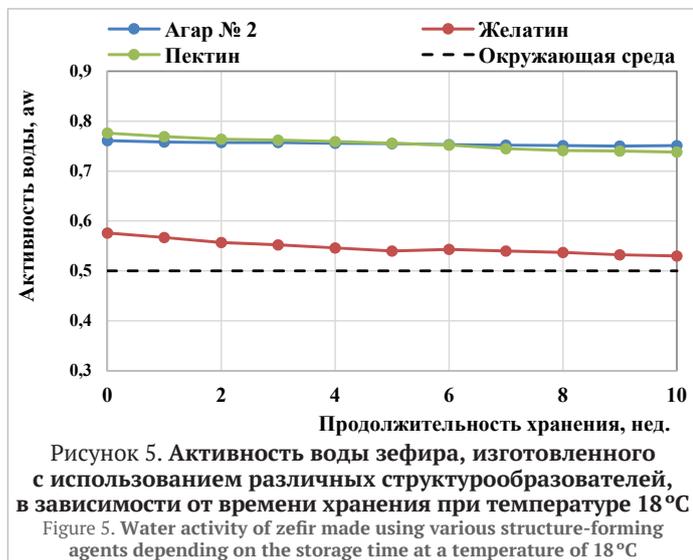
Графики изменения массовой доли влаги зефира, изготовленного с использованием образцов структурообразователей, характеризуются различным углом наклона. Наименьшая скорость потери влаги выявлена у зефира, изготовленного с использованием желатина  $W = -0,13 \tau + 13,60$  ( $R^2 = 0,98$ ; F-критерий Фишера = 147), где  $W$  — массовая доля влаги (%), а  $\tau$  — длительность хранения (недели).

Потери влаги в процессе хранения зефира, изготовленного на основе агара и пектина, приблизительно одинаковые:  $W = -0,35 \tau + 24,09$  ( $R^2 = 0,99$ , F-критерий Фишера = 297) и  $W = -0,28 \tau + 17,24$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297) соответственно. Однако зефир на основе агара имеет большее исходное содержание влаги.

Массовая доля влаги зефира, изготовленного с использованием агара и упакованного в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм, в процессе хранения при температуре 18 °С уменьшилась за 10 недель на 3,5%.

За этот период массовая доля влаги зефира на основе пектина уменьшилась на 2,5% (с 12,0% до 9,5%). Потери влаги зефира, изготовленного с применением желатина в качестве структурообразователя, составили только 1,2%. Таким образом, использование желатина (с белковой структурой) позволяет уменьшить скорость влагопереноса ориентировочно в 2–3 раза.

Показатель активности воды зефира, изготовленного на основе желатина, значительно ниже, чем зефира из агара и пектина, что позволяет прогнозировать стабильность органолептических и микробиологических характеристик качества при хранении. Установлены математические зависимости изменения активности воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, в процессе хранения при температуре 18 °С (Рисунок 5).



Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость активности воды от длительности хранения образца зефира, изготовленного с использованием агара в качестве структурообразователя:  $a_w = -0,0018 \tau + 0,797$  ( $R^2 = 0,95$ ; F-критерий Фишера = 57), где  $a_w$  — активность воды, а  $\tau$  — длительность хранения (недели).

Для зефира на основе желатина в качестве структурообразователя  $a_w = -0,0042 \tau + 0,568$  ( $R^2 = 0,90$ ; F-критерий Фишера = 27), а для зефира на основе пектина  $a_w = -0,0038 \tau + 0,7736$  ( $R^2 = 0,98$ ; F-критерий Фишера = 147).

За 10 недель хранения активность воды зефира, изготовленного с использованием и агара, и пектина, уменьшилась до 0,775 и 0,738 соответственно. За этот период активность воды зефира, приготовленного с применением желатина, сохранилась на относительно низком уровне (от 0,576 до 0,530), при котором скорость миграции влаги и риск микробиологической порчи минимальные.

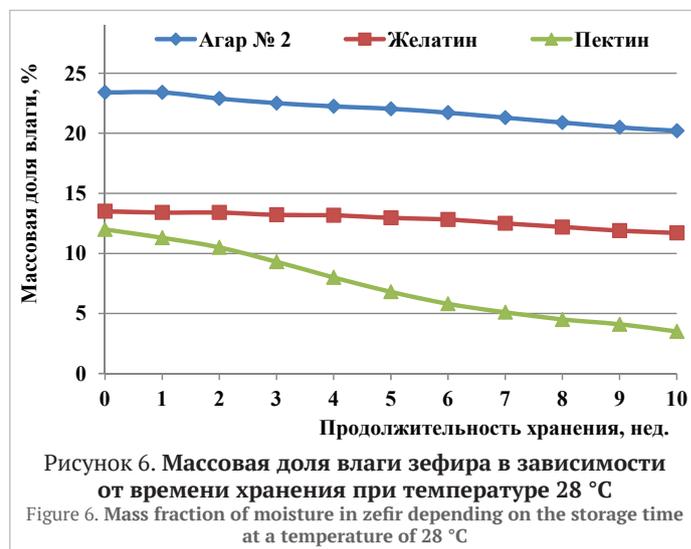
Таким образом, скорость процессов влагопереноса для изделий, изготовленных с использованием желатина, наименьшая, что связано со свойствами белковых молекул удерживать влагу и с относительно небольшим градиентом концентрации влаги между атмосферой над изделием и окружающей средой.

Исследования сроков годности новых видов кондитерских изделий с применением сырья с различными характеристиками и нестабильным качеством требуют значительного времени, поэтому для прогнозирования срока годности изделий могут быть использованы методы ускоренного хранения.

Многие методы ускоренного старения пищевых продуктов основаны на повышении температуры хранения образцов. Например, при увеличении температуры до 50 °С процессы окислительной порчи протекают в 3–4 раза быстрее, чем при температуре 18 °С. Скорость процессов влагопереноса также зависит от температуры хранения и свойств упаковки [24].

Для оценки влияния повышения температуры на скорость процессов влагопереноса при хранении кондитерских изделий пенообразной структуры на примере зефира обоснована температура 28 °С, при которой изменения структуры белков минимальные и которая может быть достигнута при реализации изделий в торговых сетях.

Проведены исследования массовой доли влаги в образцах зефира на основе агара № 2, желатина и пектина в процессе хранения при температуре 28 °С (Рисунок 6).



При повышении температуры хранения с 18 °С до 28 °С скорость процессов влагопереноса значительно увеличивается. Наличие амидных связей белков желатина обуславливает наилучшую влагоудерживающую способность изделий, изготовленных с использованием различных структурообразователей, в процессе их хранения.

Установлены математические зависимости изменения массовой доли влаги зефира, приготовленного с добавлением различных структурообразователей, которые характеризуются различным углом наклона (коэффициентами уравнений). Наименьший угол наклона имеет линейная зависимость образца зефира, изготовленного с использованием желатина в качестве структурообразователя:  $W = -0,185 \tau + 13,72$  ( $R^2 = 0,94$ ; F-критерий Фишера = 47), где  $W$  — массовая доля влаги (%), а  $\tau$  — длительность хранения (недели).

Математическая зависимость изменения массовой доли влаги зефира на основе агара имеет вид  $W = -0,982 \tau + 24,14$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297), а на основе пектина —  $W = -0,908 \tau + 11,89$  ( $R^2 = 0,98$ ; F-критерий Фишера = 147).

Полученные зависимости позволяют рассчитать массовую долю влаги зефира, изготовленного с использованием структурообразователей, в заданный момент времени при различных температурах хранения.

Скорость процессов влагопереноса обусловлена градиентом содержания влаги в окружающей среде и внутри упаковки кондитерских изделий. Относительная влажность воздуха в климатической камере задана равной 50%, что при температуре 18 °С соответствует содержанию влаги 7,7 г/м<sup>3</sup>.

Активность воды зефира, изготовленного на основе агара (страна происхождения Китай), составила 0,795; с использованием пектина — 0,769; с добавлением желатина — 0,576.

Массовая доля влаги зефира, приготовленного на основе агара, упакованного в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм, в процессе хранения при температуре 28 °С уменьшилась за 10 недель хранения на 9,6%. Массовая доля влаги зефира на основе пектина уменьшилась на 7,5%. Потери влаги зефира на основе желатина составили только 1,8%.

Таким образом, использование желатина в качестве студнеобразователя при изготовлении зефира обусловило уменьшение скорости влагопереноса при повышении температуры хранения в 4,2–5,3 раза по сравнению с зефиром, изготовленным с использованием пектина и агара в качестве структурообразователей.

При повышении температуры хранения и скорости влагопереноса происходят соответствующие изменения активности ( $a_w$ ) воды зефира (Рисунок 7).

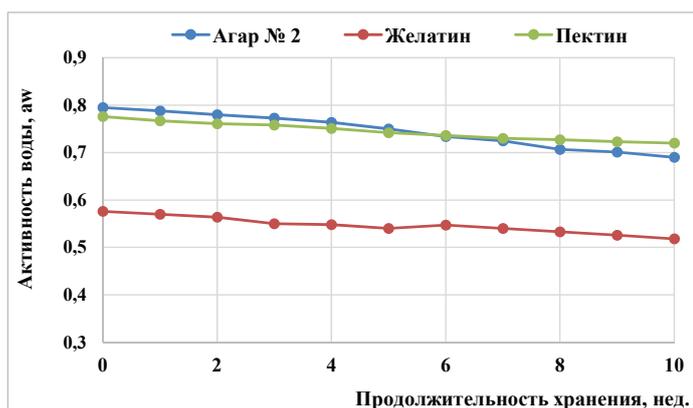


Рисунок 7. Активность воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, в зависимости от времени хранения при температуре 28 °С  
Figure 7. The water activity of zefir made using various structure-forming agents depending on the storage time at a temperature of 28 °С

При повышении температуры хранения до 28 °С наименьший угол наклона также имеет линейная зависимость активности воды от длительности хранения образца зефира, изготовленного с использованием желатина:  $a_w = -0,0053 \tau + 0,573$  ( $R^2 = 0,94$ ; F-критерий Фишера = 47).

Для зефира на основе агара в качестве структурообразователя  $a_w = -0,0111 \tau + 0,802$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297); а на основе пектина:  $a_w = -0,0057 \tau + 0,773$  ( $R^2 = 0,99$ ; F-критерий Фишера = 297).

При большой скорости потери влаги показатель активности воды зефира, изготовленного на основе пектина, уменьшился с 0,776 до 0,720, а активность воды зефира, изготовленного на основе агара, — с 0,795 до 0,690.

Установлено, что при повышении температуры хранения зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, с 18 °С до 28 °С скорость влагопереноса увеличилась для зефира на основе агара в 2,7 раза, на основе пектина — в 3,0 раза, а на основе желатина — в 1,5 раза относительно традиционных условий хранения.

Для прогнозирования скорости процессов влагопереноса с учетом геометрических размеров упаковки образцов зефира на основе структурообразователей, упакованного в полипропиленовую пленку толщиной 30 мкм, в процессе хранения при температуре 18 °С рассчитаны коэффициенты диффузии с учетом статистической обработки результатов измерений (Таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты диффузии зефира, изготовленного на основе различных структурообразователей, при температуре 18 °С

Table 2. Diffusion coefficients of zefir made on the basis of various structure-forming agents at a temperature of 18 °С

Структурообразователь в составе зефира	Коэффициент диффузии, м <sup>2</sup> /с × 10 <sup>-11</sup>
Агар № 2	2,37 ± 0,05
Желатин	2,88 ± 0,09
Пектин	2,08 ± 0,09

Коэффициент диффузии для зефира на основе пектина является наименьшим. Зефир, изготовленный на основе желатина, имеет наибольший коэффициент диффузии. Однако фактическая скорость влагопереноса для последнего является наименьшей из-за минимального градиента активности воды, равного 7,6%. Поэтому обоснованный выбор структурообразователей позволяет управлять скоростью процессов влагопереноса, а значит, и сроком годности зефира и других кондитерских изделий пенообразной структуры.

Большой сегмент рынка кондитерских изделий занимают глазированные изделия пенообразной структуры. Глазирование зефира используется как с целью улучшения органолептических характеристик, так и для снижения скорости влагопереноса в процессе хранения. Исследована массовая доля влаги зефира, глазированного шоколадной глазурью, в процессе хранения при температуре 18 °С (Рисунок 8).

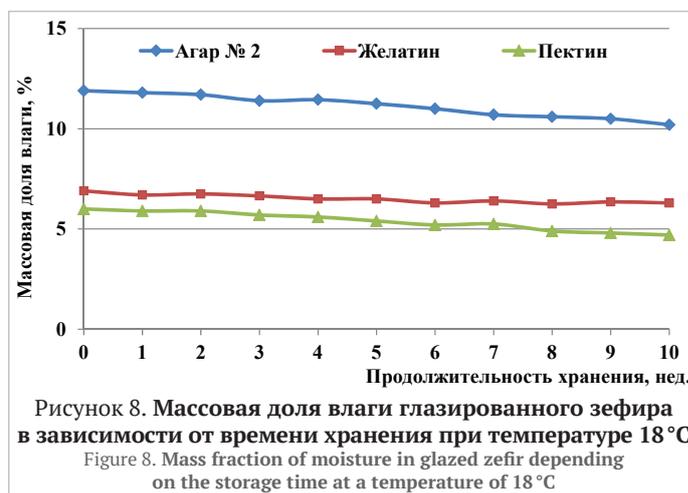


Рисунок 8. Массовая доля влаги глазированного зефира в зависимости от времени хранения при температуре 18 °С  
Figure 8. Mass fraction of moisture in glazed zefir depending on the storage time at a temperature of 18 °С

За 10 недель хранения при температуре 18 °С массовая доля влаги образцов глазированного зефира с добавлением агара уменьшилась на 1,7%, с желатином — на 0,6%, с пектином — на 1,3%. Таким образом, глазирование образцов зефира привело к снижению скорости влагопереноса приблизительно в 2 раза.

Полученные результаты коррелируют с данными исследований повышения сохранности сложных кондитерских изделий, глазированных шоколадными покрытиями различного состава и толщины, применение которых позволяет значительно снизить потери влаги и скорость нежелательного перехода пенообразной структуры образцов из аморфного состояния в стекловидно-хрупкое [25].

Установленные закономерности влияния факторов сохранности на качество образцов зефира в процессе хранения могут быть использованы при проектировании и совершенствовании технологий кондитерских изделий пенообразной структуры с увеличенным сроком годности.

#### 4. Выводы

Исследовано влияние различных факторов на показатели качества в процессе хранения зефира. При повышении температуры хранения зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей, с 18 °С до 28 °С скорость влагопереноса увеличилась для зефира на основе агара в 2,7 раза; пектина — в 3,0 раза, а желатина — только в 1,5 раза.

Установлены математические зависимости изменения массовой доли влаги и активности воды зефира, изготовленного с использованием различных структурообразователей.

Рассчитаны коэффициенты диффузии образцов зефира на основе структурообразователей с учетом градиента концентрации влаги в процессе хранения при температуре 18 °С.

Показана возможность применения метода инфракрасной спектроскопии для оценки качества различных партий агара при входном контроле, позволяющего оценить наличие амидных групп белков, обладающих влагоудерживающими свойствами.

Установлено, что скорость процессов влагопереноса для изделий, изготовленных с использованием желатина, наименьшая, что связано со свойствами белковых молекул удерживать влагу и относительно низким градиентом концентрации влаги между атмосферой над изделием и окружающей средой.

Глазирование кондитерских изделий пенообразной структуры позволяет уменьшить скорость влагопереноса приблизительно в 2 раза.

Гибкая корректировка химического состава сырья способствует изменениям внутренней пенообразной структуры, обеспечивающим заданный срок годности кондитерских изделий.

Закономерности влияния свойств структурообразователей на скорость процессов влагопереноса кондитерских изделий пенообразной структуры могут быть использованы для изготовления пастильных кондитерских изделий с заданным сроком годности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Kondratev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Rudenko, O. S., Belova, I. A. (2022). Прогнозирование срока годности зефира, глазированного шоколадной и кондитерской глазурями. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 6(390), 68–72. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.6.15>
- Tan, J. M., Lim, M. H. (2008). Effects of gelatine type and concentration on the shelf-life stability and quality of marshmallows. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1699–1704. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01756.x>
- Nepovinnikh, N. V., Klyukina, O. N., Kodatskiy, Y. A., Ptichkina, N. M., Yeganehzad, S. (2018). Study of the stability of foam and viscoelastic properties of marshmallow without gelatin. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 90–98. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-90-98>
- Kazantsev, E. V., Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., Belova, I. A. (2022). Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий. *Пищевые системы*, 5(1), 64–69. <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2022-5-1-64-69>
- Delahaije, R. J. B. M., Lech, F. J., Wierenga, P. A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*, 91, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
- Zhao, Y., Chen, Z., Li, J., Xu, M., Shao, Y., Tu, Y. (2016). Formation mechanism of ovalbumin gel induced by alkali. *Food Hydrocolloids*, 61, 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.041>
- Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z. et al. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008>
- Cui, R., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 491–508. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018>
- Kontogiorgos, V. (2019). Polysaccharides at fluid interfaces of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.008>
- Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W. et al. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2387–2394. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.100>
- van den Berg, M. Jara, F. L., Pilosof, A. M. (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.001>
- Periche, A., Heredia, A., Escriche, I., Andrés, A., Castelló, M. L. (2015). Potential use of isomaltulose to produce healthier marshmallows. *LWT – Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 605–612. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.024>
- Pertsevov, F. V., Gurskiy, P. V., Vasylenko, P., Ladyka, V. I., Ianchyk, M. V., Krapivnytska, I. O. et al. (2021). Food technology using structurants: the monograph Kharkiv: Dissa+. Ukraine. 2021.
- Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>
- Tsykhanovska, I., Yevlash, V., Alexandrov, A., Alibekov, R. (2021). Influence of the mineral food nanoadditive “Magnetofood” on the quality indicators of whipped confectionery products. *BIO Web of Conferences*, 30, Article 01022. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213001022>
- Saboonchi, S., Mehran, A., Bahramizadeh P., Massoud, R. (July 17–18, 2021). *Applications of modified starch in food*. 3rd international congress on Engineering, Technology and Innovation, 1–8.
- Zhao, Y., Cao, D., Shao, Y., Xiong, C., Li, J., Tu, Y. (2020). Changes in physicochemical properties, microstructures, molecular forces and gastric digestive properties of preserved egg white during pickling with the regulation of different metal compounds. *Food Hydrocolloids*, 98, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105281>
- Iqra, R., Asma, T., Usmanghani, K., Aliya, R. (2019). Fourier transform infrared (ft-ir) spectroscopy of agar from red seaweeds of Karachi coast. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 16(1), 59–63.
- Kondratev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Petrova, N. A., Rudenko, O. S. (2019). Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 35–46. <https://doi.org/10.36107/spfr.2019.187>
- Попова, Д. Г., Резниченко, И. Ю., Табаторович, А. Н. (2020). Исследование влияния сроков хранения на показатели качества пастильных изделий. *АПК России*, 27(5), 853–859.
- Kondratova, I. I., Томашевич, С. Е., Кононович, В. М., Шостак, Л. М. (2014). Исследование процессов черствения зефира, обогащенного пищевыми волокнами. *Весті національної академії наук України. Серія аграрних наук*, 2, 110–115.
- Барсукова, И. Г. (2017). Разработка технологии пастильных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности и срока годности в низком ценовом сегменте. Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий. — 24 с.
- Cebi, N., Durak, M. Z., Toker, O. S., Sagdic, O., Arici, M. (2016). An evaluation of Fourier transforms infrared spectroscopy method for the classification and discrimination of bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 190, 1109–1115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.065>
- Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Osipov, M. V., Баженова, А. Е. (2022). Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 22–39. <https://doi.org/10.36107/spfr.2022.354>
- Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>

## REFERENCES

- Kondratev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Rudenko, O. S., Belova, I. A. (2022). Forecasting the storage capacity of marshmallows glazed with chocolate and confectionery glazes. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 6(390), 68–72. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.6.15> (In Russian)
- Tan, J. M., Lim, M. H. (2008). Effects of gelatine type and concentration on the shelf-life stability and quality of marshmallows. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1699–1704. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01756.x>
- Nepovinnikh, N. V., Klyukina, O. N., Kodatskiy, Y. A., Ptichkina, N. M., Yeganehzad, S. (2018). Study of the stability of foam and viscoelastic properties of marshmallow without gelatin. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 90–98. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-90-98>
- Kazantsev, E. V., Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., Belova, I. A. (2022). Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food Systems*, 5(1), 64–69. <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2022-5-1-64-69> (In Russian)
- Delahaije, R. J. B. M., Lech, F. J., Wierenga, P. A. (2019). Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*, 91, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.030>
- Zhao, Y., Chen, Z., Li, J., Xu, M., Shao, Y., Tu, Y. (2016). Formation mechanism of ovalbumin gel induced by alkali. *Food Hydrocolloids*, 61, 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.041>
- Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z. et al. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 75, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008>
- Cui, R., Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 107, 491–508. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018>
- Kontogiorgos, V. (2019). Polysaccharides at fluid interfaces of food systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 270, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.008>
- Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W. et al. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2387–2394. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.100>
- van den Berg, M. Jara, F. L., Pilosof, A. M. (2015). Performance of egg white and hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation and foaming. *Food Hydrocolloids*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.001>
- Periche, A., Heredia, A., Escriche, I., Andrés, A., Castelló, M. L. (2015). Potential use of isomaltulose to produce healthier marshmallows. *LWT – Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 605–612. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.024>
- Pertsevov, F. V., Gurskiy, P. V., Vasylenko, P., Ladyka, V. I., Ianchyk, M. V., Krapivnytska, I. O. et al. (2021). Food technology using structurants: the monograph Kharkiv: Dissa+. Ukraine. 2021.
- Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>
- Tsykhanovska, I., Yevlash, V., Alexandrov, A., Alibekov, R. (2021). Influence of the mineral food nanoadditive “Magnetofood” on the quality indicators of whipped confectionery products. *BIO Web of Conferences*, 30, Article 01022. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213001022>

16. Saboonchi, S., Mehran, A., Bahramizadeh P., Massoud, R. (July 17–18, 2021). *Applications of modified starch in food*. 3rd international congress on Engineering, Technology and Innovation, 1–8.
17. Zhao, Y., Cao, D., Shao, Y., Xiong, C., Li, J., Tu, Y. (2020). Changes in physico-chemical properties, microstructures, molecular forces and gastric digestive properties of preserved egg white during pickling with the regulation of different metal compounds. *Food Hydrocolloids*, 98, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105281>
18. Iqra, R., Asma, T., Usmanghani, K., Aliya, R. (2019). Fourier transform infrared (ft-ir) spectroscopy of agar from red seaweeds of Karachi coast. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 16(1), 59–63.
19. Kondratyev N. B., Kazancev E. V., Osipov M. V., Petrova N. A., Rudenko O. S. (2019). Research of the moisture transfer processes in gingerbread with fruit filling produced using various types of modified starch. *Storage and Processing of Farm Products*, 4, 35–46. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187> (In Russian)
20. Popova, D. G., Reznichenko, I. Yu., Tabatorovich, A. N. (2020). Studying the influence of shelf life on the quality indicators of pastilles. *Agro-Industrial Complex of Russia*, 27(5), 853–859. (In Russian)
21. Kondratova, I. I., Tomashevich, S. E., Kononovich, V. M., Shostak, L. M. (2014). Research on staling of marshmallow soufflé enriched in food fibres. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Agrarian Series*, 2, 110–115. (In Russian)
22. Barsukova, I. G. (2017). Development of technology for pastille confectionery products of increased nutritional value and shelf life in the low price segment. Author's abstract of the dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies. — 24 p. (In Russian)
23. Cebi, N., Durak, M. Z., Tokar, O. S., Sagdic, O., Arici, M. (2016). An evaluation of Fourier transforms infrared spectroscopy method for the classification and discrimination of bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 190, 1109–1115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.065>
24. Kondratiev, N. B., Rudenko, O. S., Osipov, M. V., Bazhenova, A. E. (2022). Forecasting the shelf life of confectionery products under accelerated storage conditions: Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, 4, 22–39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354> (In Russian)
25. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and Shelf Life in Sugar Confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p><b>Кондратьев Николай Борисович</b> — доктор технических наук, главный научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: + 7-495-965-54-75 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-332-9621">https://orcid.org/0000-0003-332-9621</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Nikolay B. Kondratev</b>, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: + 7-495-963-54-75 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-332-9621">https://orcid.org/0000-0003-332-9621</a> * corresponding author</p>
<p><b>Руденко Оксана Сергеевна</b> — кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-40 E-mail: <a href="mailto:oxana0910@mail.ru">oxana0910@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2436-4100">https://orcid.org/0000-0003-2436-4100</a></p>	<p><b>Oxana S. Rudenko</b>, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Work, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-40 E-mail: <a href="mailto:oxana0910@mail.ru">oxana0910@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2436-4100">https://orcid.org/0000-0003-2436-4100</a></p>
<p><b>Казанцев Егор Валерьевич</b> — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-926-545-32-76 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8923-0029">https://orcid.org/0000-0001-8923-0029</a></p>	<p><b>Egor V. Kazantsev</b>, Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-926-545-32-76 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8923-0029">https://orcid.org/0000-0001-8923-0029</a></p>
<p><b>Белова Ирина Александровна</b> — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-916-849-23-42 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8025-952X">https://orcid.org/0000-0001-8025-952X</a></p>	<p><b>Irina A. Belova</b>, Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-916-849-23-42 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8025-952X">https://orcid.org/0000-0001-8025-952X</a></p>
<p><b>Петрова Наталья Александровна</b> — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-926-538-59-33 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8475-1415">https://orcid.org/0000-0001-8475-1415</a></p>	<p><b>Natalya A. Petrova</b>, Researcher, Department of Modern Methods of Quality Assessment of Confectionery Products, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-926-538-59-33 E-mail: <a href="mailto:conditerprom_lab@mail.ru">conditerprom_lab@mail.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8475-1415">https://orcid.org/0000-0001-8475-1415</a></p>
<p><b>Критерии авторства</b></p>	<p><b>Contribution</b></p>
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
<p><b>Конфликт интересов</b></p>	<p><b>Conflict of interest</b></p>
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>