

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-308-316>

Поступила 22.05.2023

Поступила после рецензирования 28.07.2023

Принята в печать 02.08.2023

© Творогова А. А., Шобанова Т. В., Гурский И. А., Казакова Н. В., 2023

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

Научная статья

Open access

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ

Творогова А. А., Шобанова Т. В., Гурский И. А.\* , Казакова Н. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

вязкость,  
криоскопическая  
температура,  
скорость таяния,  
структура,  
консистенция,  
микроструктура

Мороженое является популярной разновидностью молочной продукции, содержащей до 6% лактозы. В связи с непереносимостью лактозы значительной частью потребителей и возможностью ее кристаллизации при хранении готового продукта, существует необходимость снижения содержания этого нутриента в составе данного продукта. Целью исследований является изучение влияния процесса гидролиза лактозы в мороженом с массовой долей жира 15% и с различной массовой долей сухого обезжиренного молочного остатка на технологически значимые и органолептические показатели его качества. Основными объектами исследования служили образцы мороженого, подвергнутые гидролизу лактозы на стадии созревания смеси. Массовая доля жира в образцах составляла 15%, а массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка — 7, 10, 12 и 15%. Состав сахаров определяли с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии, динамическую вязкость смесей и консистенцию мороженого — реологическими методами, дисперсность структурных элементов — микроскопированием. Установлено влияние массовой доли сухого обезжиренного остатка при проведении гидролиза лактозы на показатели качества смеси и мороженого. По мере увеличения массовой доли сухого молочного остатка с 7 до 15% отмечено повышение остаточного содержания лактозы с 0,2 до 1,1% и динамической вязкости смеси в 1,3 раза, а также понижение криоскопической температуры на 0,6–0,8 °С и повышение термоустойчивости. Массовая доля плава через 2 ч выдерживания снизилась до 4,7–0,7%. Также уменьшились значения показателей консистенции — твердость, клейкость, адгезионная сила и жесткость — в 1,1–1,7 раза (при массовой доле сухого обезжиренного молочного остатка 7 и 10%). Образцы мороженого, подвергнутые гидролизу лактозы, отличались высокой дисперсностью структурных элементов, характерной для традиционного продукта, а также улучшением показателей текстуры и повышением ощущения сладости. Комплекс исследований по изучению показателей качества мороженого с массовой долей жира 15% показал, что изменение массовой доли СОМО при проведении ферментативного гидролиза лактозы приводит к формированию различающихся структурно-механических и органолептических показателей, что необходимо учитывать при составлении ассортимента и при разработке рецептурного состава низколактозных продуктов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0013 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Received 22.05.2023

Accepted in revised 28.07.2023

Accepted for publication 02.08.2023

© Tvorogova, A. A., Shobanova, T. V., Gurskiy, I. A., Kazakova, N. V., 2023

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

Original scientific article

Open access

## THE QUALITY INDICATORS OF ICE CREAM UPON THE ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LACTOSE

Antonina A. Tvorogova, Tatyana V. Shobanova, Igor A. Gurskiy\*, Natalia V. Kazakova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

### KEY WORDS:

viscosity, freezing  
point, melting rate,  
structure, consistency,  
microstructure

### ABSTRACT

Ice cream is a popular type of dairy foods containing up to 6% of lactose. In connection with the lactose intolerance by many consumers and the possibility of its crystallization during storage of finished products, there is a need for a decrease in the content of this nutrient in the composition of ice cream. The aim of the research was to study an effect of the lactose hydrolysis process in ice cream with the fat mass fraction of 15% and different mass fractions of dry skim milk residue on technologically significant and sensory properties of its quality. The main objects of the study were samples of ice cream subjected to lactose hydrolysis at the stage of mixture maturation. The fat mass fraction in the samples was 15%, mass fractions of dry skim milk residue were 7, 10, 12 and 15%. The composition of sugars was determined by high-performance liquid chromatography, the dynamic viscosity of mixes and the consistency of ice cream by rheological methods and the dispersion of structural elements by microscopy. The effects of the mass fraction of dry skim milk residue and lactose hydrolysis on quality indicators of mixtures and ice cream were determined. As the mass fraction of dry skim milk residue rose from 7 to 15%, the residual content of lactose increased from 0.2 to 1.1%, while the dynamic viscosity of the mixture increased by 1.3 times. A decrease in the freezing point by 0.6–0.8 °C and an increase in melting resistance were also observed. The mass fraction of melt after 2 hours of holding decreased to 4.7–0.7%. Also, indicators of consistency (hardness, adhesiveness, adhesion force and rigidity) decreased by 1.1–1.7 times (upon a mass fraction of dry skim milk residue of 7 and 10%). The samples of ice cream subjected to lactose hydrolysis were characterized by a high dispersion of structural elements typical for a traditional product, and by improved texture and increased sensation of sweetness. The complex of investigations to study quality indicators of ice cream with the fat mass fraction of 15% showed that a change in the mass fraction of dry skim milk residue upon enzymatic hydrolysis of lactose results in formation of different structural-mechanical and sensory indicators that should be considered during the creation of assortment and development of formulations of low-lactose products.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0013 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Творогова, А. А., Шобанова, Т. В., Гурский, И. А., Казакова, Н. В. (2023). Показатели качества мороженого при проведении ферментативного гидролиза лактозы. *Пищевые системы*, 6(3), 308–316. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-308-316>

FOR CITATION: Tvorogova, A. A., Shobanova, T. V., Gurskiy, I. A., Kazakova, N. V. (2023). The quality indicators of ice cream upon the enzymatic hydrolysis of lactose. *Food Systems*, 6(3), 308–316. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-308-316>

## 1. Введение

Лактоза представляет собой дисахарид, состоящий из глюкозы и галактозы, соединенных  $\beta$ -1,4 гликозидной связью. Лактоза присутствует только в молоке и молочных продуктах, ее содержание в коровьем молоке в среднем составляет 4,8% [1].

При рассмотрении лактозы с точки зрения современных представлений о рациональном питании человека принимают во внимание целый ряд аспектов. В частности, лактоза является источником углеводов, суточная потребность в которых составляет более 400 г, что в 4–5 раз превышает потребности организма в белках и жирах. Лактоза, как и все сахара, служит источником энергии, необходимой для осуществления биохимических процессов в организме. Она гидролизуется до глюкозы и галактозы ферментом лактазы ( $\beta$ -галактозидаза) в кишечнике. Однако активность этого фермента снижается у значительной части населения по мере старения, что приводит к непереносимости лактозы и к возникновению проблем с пищеварением у потребителей [2]. В некоторых странах такие симптомы встречаются у 65–76% населения [3,4]. Стоит отметить, что степень непереносимости лактозы зависит от ее количества в продукте, и малые дозы лактозы чаще всего хорошо переносятся [5]. В связи с этим в России, как и во всех индустриально развитых странах мира, актуальны разработки продуктов питания специального назначения [6]. К ним относится также молочная безлактозная и низколактозная продукция.

В производстве мороженого лактозу можно отнести к проблемному компоненту из-за ее низкой растворимости по сравнению с другими дисахаридами. В частности, растворимость лактозы в 5 раз ниже растворимости сахарозы. Низкая растворимость лактозы приводит к ее кристаллизации в насыщенных растворах [7], что особенно важно учитывать при замораживании. По мере снижения температуры в области отрицательных значений в мороженом уменьшается содержание свободной воды, что приводит к увеличению концентрации лактозы и вероятности ее кристаллизации [8].

Содержание лактозы в мороженом в значительной степени зависит от массовой доли СОМО. Зарубежными исследователями регламентируется массовая доля СОМО для мороженого от 8% до 15% [9,10]. Наибольшее значение СОМО установлено с учетом вероятности появления порока «органолептически ощутимые кристаллы лактозы», а наименьшее присвоено такому показателю, как слабовыраженный молочный вкус. Порок «мучнистость» проявляется в мороженом при наличии кристаллов лактозы размером более 10 мкм, «песчанность» — при размере кристаллов более 20 мкм. Риск их появления возрастает по мере увеличения содержания лактозы, при этом перенасыщенным является ее раствор с концентрацией 5,4%, достигаемой при массовой доле СОМО 10%. Однако молочный вкус мороженого усиливается при увеличении массовой доли СОМО [11].

Чтобы решить технологические проблемы и удовлетворить спрос потребителей с непереносимостью лактозы, пищевая промышленность производит широкий спектр безлактозных или с пониженным содержанием лактозы продуктов. Способы снижения содержания лактозы включают проведение ферментации [12,13] или полную замену компонентов, содержащих лактозу. Даже процесс молочнокислого брожения не приводит к полному гидролизу лактозы, что не позволяет получить безлактозные и низколактозные продукты. В работе [14] представлена технология безлактозного замороженного йогурта (кисломолочного мороженого) с использованием ферментативного гидролиза лактозы. В этом исследовании процесс ферментативного гидролиза в смесях проводили при температуре  $(44 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; доза препарата составляла 2,5 г/л, что соответствовало 2500 ед. лактазы на литр, длительность ферментации составляла 0,5 часа. В результате содержание лактозы было снижено с 4,4% до 1,5%.

На рынке ряда стран (Финляндия, Швеция и Россия) реализуется безлактозное мороженое финского концерна Valio. Мороженое производится на основе безлактозного молока, полученного в Финляндии. Технология этой фирмы позволяет выпускать молоко с содержанием лактозы не более 0,01%, поэтому такой продукт могут употреблять лица с высокой чувствительностью к лактозе. Мембранные технологии фирмы Valio базируются на ультрафильтрационной обработке молока. В этом случае из молока удаляется часть лактозы, поскольку мембраны задерживают высокомолекулярные компоненты молока и пропускают низкомолекулярные соединения (лактоза, минеральные вещества и т. п.). Когда в молоке обеспечивается минимальная по технологии концентрация лактозы, дополнительно проводится ферментативный гидролиз оставшейся

лактозы путем добавления в молоко фермента лактазы. На основе разработанного продукта фирма выпускает целый ряд молочных продуктов без лактозы.

Анализ и систематизация литературных данных по разработке технологии низколактозного мороженого подтвердил, что использование ферментного препарата  $\beta$ -галактозидазы является наиболее распространенным способом снижения количества лактозы при производстве продукции данной категории. Авторами работы [14] было получено кисломолочное мороженое при использовании гидролиза лактозы с остаточным ее содержанием не более 0,05% с сохранением высоких потребительских свойств продукта. В своей работе Tsuchiya и др., используя  $\beta$ -галактозидазу в мороженом с концентратами различных белков, содержащими лактозу, достигли степени ее гидролиза 86–97%, при этом, как и в предыдущем исследовании с кисломолочным мороженым, показатели либо не изменялись, либо улучшались [15]. Авторами работы [16] также были получены образцы мороженого с 80–90% гидролизованной лактозы. В работе [17] Osmak и др. удалось подвергнуть гидролизу до 85% лактозы в подсырной сыворотке, часто применяемой в технологии мороженого, в результате чего ее использование позволяет получить готовый продукт с содержанием лактозы не более 0,1%. В обзоре Nivetha и Mohanasrinivasan [18] описаны преимущества использования  $\beta$ -галактозидазы в промышленных условиях, а также указаны оптимальные условия применения для ее разновидностей.  $\beta$ -галактозидазу задействуют как на стадии специально вводимой операции, так и при проведении других (ферментация, ультрафильтрация). В соответствии с предыдущими исследованиями Matak и др. [19] попытались гидролизовать до 98% лактозы в смеси для мороженого с использованием  $\beta$ -галактозидазы в составе двух ферментных препаратов и оценили их влияние на некоторые реологические свойства мороженого с низким содержанием лактозы. Abbasi с соавторами [20] установили влияние снижения содержания лактозы на текстуру (становится более мягкой), сладость (повышается) и кажущуюся вязкость смеси для мороженого. Использование  $\beta$ -галактозидазы в пищевой промышленности с целью снижения содержания лактозы положительно влияет на качество молочных продуктов, так как обеспечивает усиление ощущения сливочной и мягкой консистенции, усвояемости и сладости продукта для потребителя [18].

Способ удаления лактозы из молочного сырья ферментативным путем имеет ряд особенностей: применение ферментативного гидролиза требует определенного времени, специального оборудования, контролирующих действий: постоянный химический анализ молока и молочной продукции, контроль технологических параметров (температуры и времени ферментации) и при необходимости инактивации фермента лактазы. В исследованиях [15,16,18,21] обоснованы режимы проведения ферментативного гидролиза лактозо-содержащего молочного сырья при производстве низколактозных и безлактозных продуктов. В обзоре [18] для  $\beta$ -галактозидазы из дрожжей указана температура гидролиза 4–6 $^\circ\text{C}$  и продолжительность этого процесса 16–24 ч. Авторы работы [15] проводили гидролиз при температуре 37 $^\circ\text{C}$  за 4 ч при концентрации фермента 0,5 г на 1 л смеси; в работе [16] использовали 0,2% фермента при 40 $^\circ\text{C}$  в течение 4 ч, а в исследовании [21] гидролиз был проведен за 4 ч при 37 $^\circ\text{C}$  и за 12 ч при 10 $^\circ\text{C}$ .

При производстве молочной продукции важно учитывать усиление сладкого вкуса безлактозных молочных продуктов, несмотря на то, что сладость лактозы составляет примерно 20% от сладости сахарозы. Такой эффект возникает за счет действия глюкозы и галактозы, образующихся в результате ферментативного гидролиза лактозы [22,23,24].

В настоящее время в России 57% от общего объема производимого мороженого приходится на пломбир. Предельная массовая доля СОМО в пломбире составляет 10% в связи с возможной кристаллизацией лактозы. Количество белка, вносимого в мороженое с этой массовой долей СОМО, не обеспечивает формирование прочной оболочки на жировых частицах. В связи с этим в мороженом пломбир при термомеханической обработке в процессе производства может происходить деэмульгирование жировой фазы, приводящее к возникновению порока «крупчатость». Существует потребность в увеличении массовой доли СОМО в мороженом пломбир, однако ограничивающим фактором является повышение содержания лактозы. Нередко мороженое пломбир при использовании пищевкусовых продуктов вырабатывают с меньшей массовой долей СОМО (до 7%), в таких разновидностях продукта жировая фаза еще менее стабильна, а содержание лактозы довольно высокое.

С учетом того, что пломбир содержит наиболее высокую концентрацию лактозы по сравнению с другими видами мороженого и в связи с производственной необходимостью максимального повышения содержания СОМО, целью исследований являлось получение новых знаний о влиянии процесса гидролиза лактозы на показатели качества мороженого с массовой долей молочного жира 15% при различной массовой доле СОМО.

## 2. Объекты и методы

### 2.1. Объекты исследований

Объектами исследований служили образцы мороженого с массовой долей жира 15%, характеристика которых представлена в Таблице 1. В образцах № 2–№ 5 проводили гидролиз лактозы с применением фермента β-галактозидаза. Массовая доля СОМО в данных образцах составляла 7%, 10%, 12% и 15% соответственно. Препарат нейтральной лактазы Maxilact Smart получен при использовании молочных дрожжей *Kluveromyces lactis* (ООО «ДСМ Восточная Европа», Москва, Россия). В контрольном образце (К) гидролиз лактозы не проводился, массовая доля СОМО составляла 10%.

Для производства мороженого использовали следующие компоненты:

- глюкозный сироп Multydex 38 (ООО «КЗ Гулькевичский», Красносельский, Россия);
- сахара (ООО «Русагро-Белгород», Белгородская область, Россия);
- стабилизатор-эмульгатор Cremodan 334 (DuPont Danisco, Москва, Россия);
- вода;
- сухое обезжиренное молоко (содержание сухих веществ 95%) (ООО «Юговский комбинат молочных продуктов», Пермь, Россия);
- масло сливочное (м. д. ж. 72,5%) (ООО «Билясувар Агро», Азербайджан).

Таблица 1. Характеристика исследуемых образцов мороженого  
Table 1. Characteristics of the tested ice cream samples

Компонент	Значение показателей в образцах				
	К	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Масло сливочное, %			20,7		
СОМ*, %	10,5	7,4	10,5	12,6	15,8
Сахароза, %	14,0	15,0	14,0	12,0	9,0
Глюкозный сироп, %	—	2,0		—	
Стабилизатор, %			0,4		
Вода, %	54,4	54,5	54,4	54,3	54,1

Примечание: \* СОМ — сухое обезжиренное молоко.

### 2.2. Производство мороженого

Технологический процесс производства мороженого включал в себя выполнение следующих последовательных этапов: смешивание компонентов при температуре 40±5 °С; фильтрование смеси при температуре не ниже 60 °С; пастеризация смеси при температуре 83–85 °С с выдержкой 60 с на пастеризационной установке емкостного типа ЮВС (Россия); гомогенизация смеси при температуре 80 °С и давлении на первой ступени 9,0–11,0 МПа, на второй ступени — 3,0–5,0 МПа (гомогенизатор лабораторный APV SCHRODER GMBH, Германия); охлаждение смеси до 4 °С на установке ЮВС; созревание при температуре 4±2 °С в течение 20 ч; фризирование смеси (фризер лабораторный CARPIGANI, Италия); фасование мороженого в контейнеры из полистирола объемом 200 мл; закаливание мороженого при температуре минус 30 °С трое суток и последующее хранение при температуре минус 18 °С. Гидролиз лактозы проводили на стадии созревания смеси при температуре 4±2 °С в течение 20 ч. Доза ферментного препарата составляла 0,1% с активностью 2600 IAU/g.

### 2.3. Методы исследования

Исследование динамической вязкости смесей для мороженого проводили с использованием реовискозиметра DV2+Pro (BrookField, США) с программным обеспечением Rheocalc V3 1–1 (BrookField, США) и шпинделя SC4–31. Смесь для мороженого заливали в металлический цилиндр объемом 10 см<sup>3</sup>, закрепляли и погружали в него шпиндель, подключали датчик температуры. Измерения вязкости образцов проводили в трех повторностях с точностью +/- 1% от используемого диапазона и воспроизводимостью не менее 0,2% при температуре смеси 4,0±0,5 °С. Для достижения необходимой температуры применялась водяная баня (термостат) с погрешностью измерения температуры ±0,5 °С.

Показатели текстуры образцов мороженого определяли на текстурометре LFRA Texture Analyzer (Brookfield, США) при помощи датчика TA28 с программным обеспечением TexturePro Lite v1.1 Bld 4 (Brookfield, США) согласно методу, описанному в работе [25].

Вязкость мороженого определяли по ГОСТ 31457–2012<sup>1</sup>.

Для определения содержания массовой концентрации моно- и дисахаридов использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), приведенный в ГОСТ Р 54760–2011<sup>2</sup>.

Исследование структурных элементов основано на установлении размеров воздушных пузырьков и кристаллов льда и на математическом расчете их среднего диаметра. С этой целью использовали микроскоп CX41RF (OLYMPUS, Япония) со встроенной фотокамерой и программным обеспечением ImageScore M.

Криоскопическую температуру (Ткр) определяли на осмометре-криоскопе ОСКР-1 («КИВИ осмометрия», Россия).

Органолептическую оценку исследуемых образцов проводили группой из 6 дегустаторов согласно ГОСТ ISO 6658–2016<sup>3</sup>. Оценивали такие показатели, как вязкость, плотность, твердость, ощущение сладости, выраженность холодного вкуса, молочный вкус (обусловленный содержанием СОМО и жира). Каждый показатель оценивали по шкале от 5,0 до 0,0 с шагом 0,5, где 5,0 — очень хорошо, 0,0 — очень плохо.

Обработку полученных результатов осуществляли в программе Past 4.03. Вычисляли среднее значение (Me) и стандартное отклонение (SD). Уровень значимости нулевой гипотезы (p) при проведении однофакторного дисперсионного анализа принимался равным 0,05. Для анализа структуры было обработано не менее 500 объектов, анализы консистенции мороженого и показателей смеси для его изготовления проводились по результатам 9 и 3 повторений соответственно.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Физико-химические показатели смеси

Было установлено значимое влияние массовой доли СОМО на динамическую вязкость смесей для мороженого (Рисунок 1). В частности, вязкости смесей с массовыми долями СОМО 15% и 7% при скорости сдвига 8 об/мин. после созревания отличались в 4,5 раза. При сравнении образцов К и № 3 было установлено значимое влияние процесса гидролиза на динамическую вязкость смеси. Изменение этого показателя при увеличении/снижении доли СОМО связано с увеличением/снижением содержания белка, обладающего влаговязывающей способностью. Полученные данные коррелируют с результатами Alvarez и др. [26], которые установили прямо пропорциональную зависимость вязкости смеси и массовой доли белка и увеличение этого показателя в процессе созревания вследствие гидратирования белка.

При оценке титруемой кислотности, как и следовало ожидать, было установлено, что по мере увеличения массовой доли СОМО значение этого показателя возрастало. Из представленных в Таблице 2 данных следует, что при массовой доле СОМО 7–15% диапазон титруемой кислотности составлял 14–31 °Т. Между образцами контрольным и № 3 не было установлено значимых различий по титруемой кислотности, что свидетельствует об отсутствии влияния гидролиза на данный показатель (p > 0,05). Повышение титруемой кислотности при увеличении массовой доли СОМО связано с увеличением содержания белка (в частности из-за присутствия кислых аминокислот, таких как аспарагин и глутамин) и минеральных соединений, оказывающих влияние на данный показатель, что коррелирует с более ранними исследованиями влияния белков на показатели качества мороженого [25,27].

Результаты определения криоскопической температуры смесей представлены в Таблице 2. Установлено значительное понижение криоскопической температуры (на 0,6–0,8 °С) при проведении процесса гидролиза и при внесении в состав смеси глюкозного сиропа, что обусловлено вдвое меньшей молекулярной массой глюкозы и галактозы. Результаты исследования Baeg и Keating [28] подтверждают влияние гидролиза лактозы и сахаров с более низкой молекулярной массой на криоскопическую температуру смесей для мороженого, по сравнению с сахарозой. Значимых различий по этому

<sup>1</sup> ГОСТ 31457-2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия». – Москва: Стандартинформ, 2014. – 28 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 54760-2011 «Продукты молочные составные и продукты детского питания на молочной основе. Определения массовой концентрации моно- и дисахаридов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии». – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

<sup>3</sup> ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общие руководства». – Москва.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.

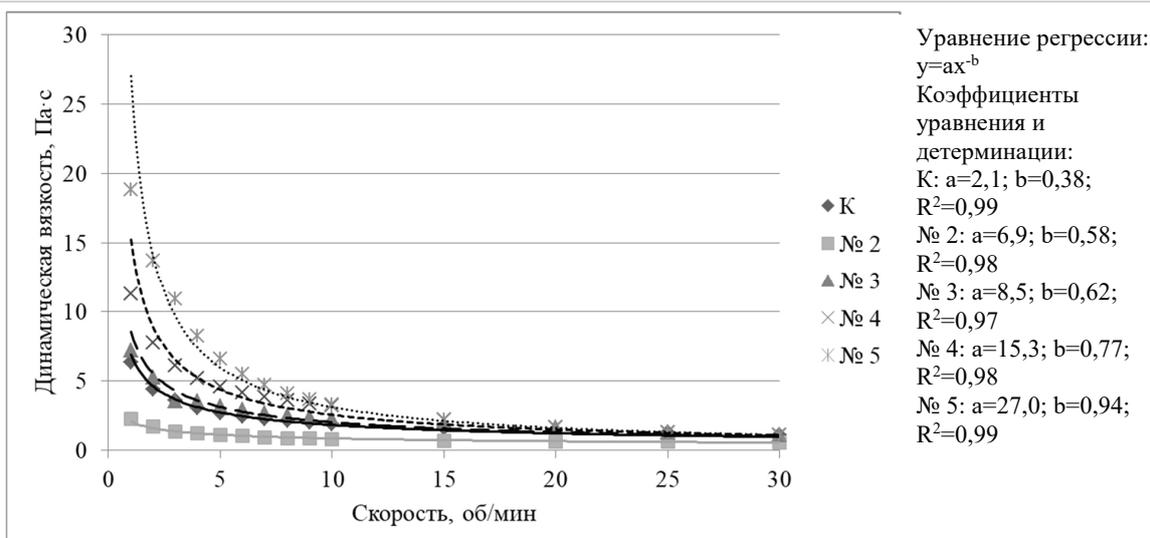


Рисунок 1. Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига образцов смеси для мороженого после созревания  
 Figure 1. Dependence of the dynamic viscosity on the shear rate of the samples of mixture for ice cream after maturation

показателю в образцах № 3–№ 5 (с массовыми долями СОМО 12 и 15%) не было установлено.

Для получения мелкодисперсной кристаллической структуры необходимо достигнуть не менее 50% вымороженной влаги на этапе фризирования. В связи с этим на основании полученных значений криоскопических температур образцов были определены температуры мороженого на выходе из фризера (Таблица 2) по формуле (1):

$$BB, \% = \left(1 - \frac{T_{кр}}{T_m}\right) \times 100 \quad (1)$$

где  $BB$  — вымороженная влага, %;

$T_{кр}$  — криоскопическая температура, °С;

$T_m$  — температура мороженого на выходе из фризера, °С.

Таблица 2. Физические показатели исследуемых образцов при фризировании

Table 2. Physical indicators of the tested samples upon freezing

Показатель	Образец				
	К	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Температура смеси, °С	4,9	4,7	4,4	3,9	3,5
Температура мороженого, °С	-5,3	-6,5	-6,5	-6,1	-6,4
Криоскопическая температура, °С	-2,34	-3,14	-3,04а	-2,99а	-2,98а
Титруемая кислотность, °Т	20,7±0,6 <sup>а</sup>	14,3±0,6	20,3±0,6 <sup>а</sup>	24,7±0,6	31,3±0,6
Доля вымороженной влаги, %	55,8	51,7	53,2	51,0	53,4

Примечание: значения с одинаковой буквой в одном ряду существенных различий не имеют.

Хроматограммы образцов К и № 2, полученные методом ВЭЖХ, и данные по массовой доле сахаров в мороженом, включая лактозу, определенные указанным методом, приведены на Рисунке 2 и в Таблице 3. Хроматограммы образцов № 3–№ 5 не имеют существенных отличий от образца № 2. Содержание лактозы в контрольном образце составило 5,9%.

Таблица 3. Количество сахаров в образцах мороженого

Table 3. Amounts of sugars in ice cream samples

Образец	Количество г/100 г				
	Сахароза	Глюкоза	Галактоза	Мальтоза	Лактоза
К	13,9	–	–	–	5,9
№ 2	14,7	1,9	1,7	0,8	0,2
№ 3	14,1	2,4	2,3	–	0,3
№ 4	11,8	2,8	2,4	–	0,5
№ 5	9,0	3,6	2,7	–	1,1

По результатам исследования состава сахаров в мороженом было установлено, что по мере увеличения массовой доли СОМО повышается и количество остаточной лактозы. Из представленных образцов к категории продукции с низким содержанием лактозы можно отнести образцы № 2–№ 4.

### 3.2. Показатели качества мороженого

Определены технологически значимые показатели качества мороженого пломбир, на которые могли повлиять изменения качественного и количественного состава сахаров в процессе ферментации лактозы: взбитость, термоустойчивость, дисперсность структурных элементов и состояние консистенции (количественная оценка).

Данные по взбитости исследуемых образцов мороженого представлены на Рисунке 3. Было установлено, что между образцами № 3 и № 4, а также № 2 и № 5 нет значимых различий.

Увеличение содержания СОМО в продукте до 15% (образец № 5) и высокая вязкость исследуемого образца способствовали снижению способности смеси к насыщению воздухом, взбитость без принудительной подачи воздуха в этом образце не превышала 48%. Снижение содержания СОМО до 7% также привело к уменьшению способности смеси насыщаться воздухом. Это связано с уменьшением количества белка и динамической вязкости смеси, в результате чего воздушная фаза не задерживается внутри продукта. Полученные результаты взбитости мороженого при фризировании смесей с различной вязкостью соответствуют результатам исследований, проведенных Milliatti и Lannes [29], которые сообщали о снижении способности смесей к насыщению воздухом из-за слишком высокой вязкости.

На Рисунке 4 изображена динамика термоустойчивости мороженого пломбир после гидролиза лактозы.

Как следует из данных, приведенных на Рисунке 4, все образцы мороженого характеризуются высокой термоустойчивостью. Массовая доля плава за 60 мин выдерживания не превышает 1%, что указывает на отсутствие негативного влияния гидролиза и снижения СОМО. Было установлено, что повышение содержания СОМО и проведение гидролиза повышают термоустойчивость продукта. Влияние СОМО можно объяснить формированием более прочной структуры за счет взаимодействия молекул белка и воды. Влияние гидролиза лактозы, вероятно, объясняется образованием при его проведении сахаров (глюкозы и галактозы), обладающих более высокой растворимостью по сравнению с лактозой, что приводит к повышению количества химически связанной воды, прочно удерживаемой в структуре продукта. К схожим выводам пришли Junior и Lannes [30], подчеркнув роль размера молекулы и молекулярной массы сахаров в образовании макромолекул при взаимодействии с водой. Они также сообщают, что на термоустойчивость могла повлиять криоскопическая температура, однако в данном исследовании подобная динамика не прослеживается. С результатами этих исследований можно согласиться, поскольку криоскопическая температура смесей влияет на доли вымороженной воды в мороженом при одной и той же температуре.

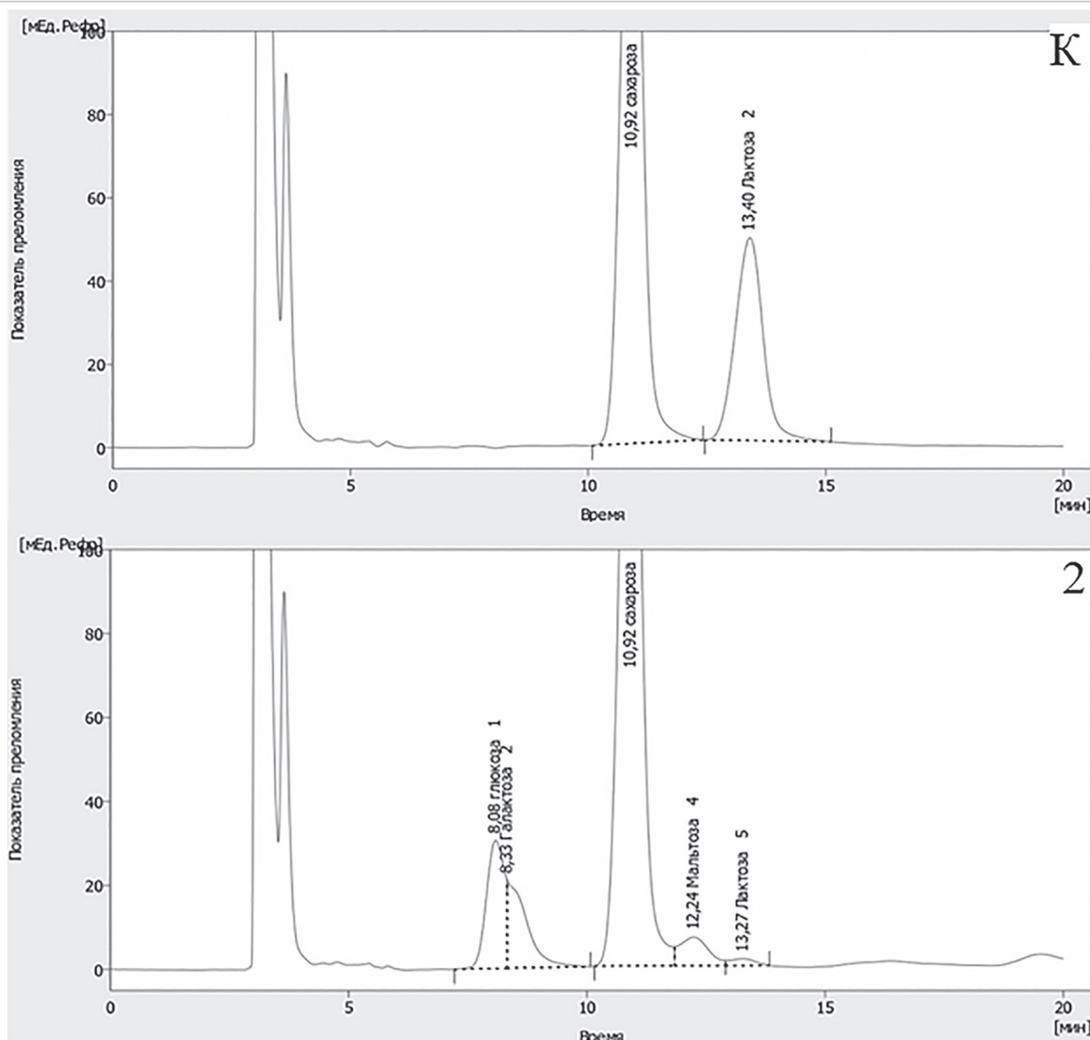


Рисунок 2. Хроматограмма образца К и № 2  
Figure 2. Chromatogram of the samples K and No. 2

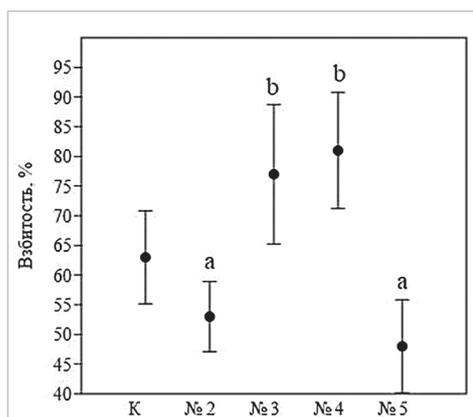


Рисунок 3. Взбитость образцов мороженого: значения с одинаковой буквой значимо не различаются  
Figure 3. Overrun of ice cream samples: values with the same letter are not significantly different

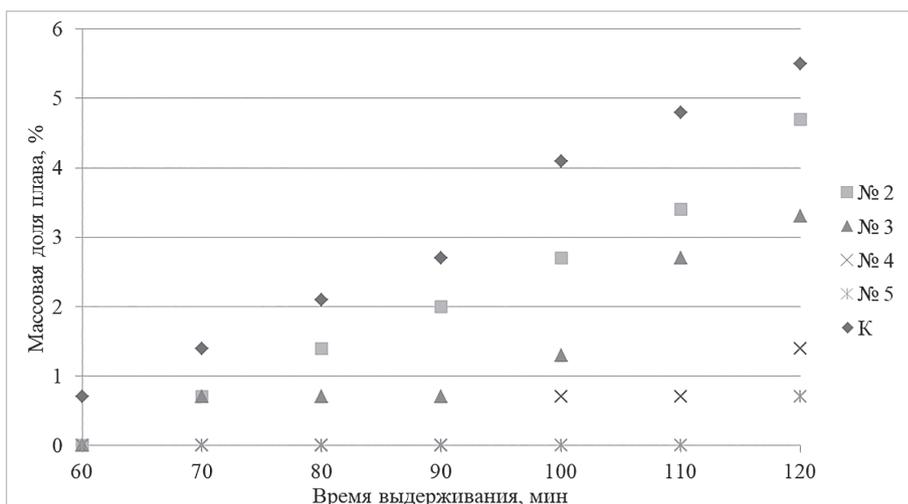


Рисунок 4. Термоустойчивость образцов при температуре 20 °С  
Figure 4. Melting resistance of ice cream at a temperature of 20 °С

Исследованы микроструктурные показатели дисперсности структурных элементов мороженого (Таблица 4). Были установлены значимые различия средних размеров пузырьков воздуха между образцами, содержащими 10% и 12–15% СОМО. Также выявлено увеличение среднего размера пузырьков воздуха в образце с наименьшим содержанием (7%) СОМО. В процессе хранения в течение 3 мес. не было установлено значимых изменений в дисперсности воздушной фазы в образцах К и № 3. Через 3 мес. хранения образцы К, № 2, и № 5 имели схожие значения по этому показателю.

Определены значимые различия размеров кристаллов льда при проведении гидролиза (образцы К и № 3), что обусловлено снижением криоскопической температуры и доли вымороженной воды при одной и той же температуре выгрузки мороженого из фризера. Также выявлено значимое влияние количества СОМО на средние диаметры кристаллов льда. В процессе хранения изменений в размере кристаллов не было установлено в образцах № 3 и № 4, что может быть связано с большим содержанием связанной влаги из-за высокой массовой доли белка в составе СОМО.

Таблица 4. Размеры структурных элементов в образцах мороженого

Figure 4. Melting resistance of ice cream at a temperature of 20 °C

Образец	Размер пузырьков воздуха, мкм		Размер кристаллов льда, мкм	
	Me	SD	Me	SD
После закаливания				
К	32,6 <sup>a</sup>	± 0,5	27,1 <sup>a</sup>	± 0,3
№ 2	37,0	± 0,2	26,8 <sup>a</sup>	± 0,4
№ 3	34,3 <sup>a</sup>	± 2,3	28,3	± 0,1
№ 4	38,6	± 2,4	29,9	± 0,7
№ 5	36,3	± 1,7	26,5 <sup>a</sup>	± 1,6
Через 3 мес. хранения				
К	31,0 <sup>a</sup>	± 0,2	31,9 <sup>a</sup>	± 0,4
№ 2	32,1 <sup>a</sup>	± 2,6	30,4	± 0,4
№ 3	34,9	± 0,3	29,9	± 0,2
№ 4	33,6	± 0,6	30,2	± 0,9
№ 5	30,5 <sup>a</sup>	± 1,4	30,7 <sup>a</sup>	± 2,5

Примечание: значения с одинаковой буквой существенных различий не имеют.

Характеристики структурных элементов в мороженом во многом зависят от его состава. На дисперсность воздушной фазы в большей степени оказало влияние массовой доли белка СОМО. Высокая вязкость образцов № 4 и № 5 возможно привела к повышению среднего диаметра пузырьков воздуха в сравнении с образцом К. Большой средний диаметр воздушных пузырьков в образце № 2 в сравнении с К может быть связан с меньшей их стабильностью из-за более низкого содержания СОМО, в результате чего процесс коаллесценции на этапе закаливания протекал активнее.

В процессе хранения снижение среднего размера пузырьков воздуха образцов № 2, № 4 и № 5 может быть связано с эффектом переконденсации. В образце № 2 из-за меньшей исходной вязкости смеси образовалась менее прочная структура, что привело к наибольшей скорости диффузии газа. В образцах № 4 и № 5 с большим количеством белка в составе СОМО образовались более прочные оболочки на жировых шариках. При фризировании это привело к снижению количества деэмульгированного и агломерированного жира, необходимого для стабилизации воздушной фазы, о чем сообщалось и в работе Chang и Hartel [31].

Отсутствия значимых различий или же незначительного для продукта увеличения размеров кристаллов льда в образцах, подвергнутых ферментации, удалось достичь за счет понижения температуры выгрузки мороженого из фризера, в результате чего доля вымороженной влаги была не ниже 50% во всех образцах мороженого. О влиянии вымороженной влаги на состояние структуры рассказывалось в работе Nagiwa и Hartel [32]. Авторы подтверждают, что при большем количестве вымороженной влаги достигается более стабильная к рекристаллизации кристаллическая структура, а при закаливании количество вымороженной воды увеличивается с 50% до 80%.

В данной работе были установлены значимые различия между показателями консистенции образцов мороженого. Данные представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Показатели консистенции образцов мороженого

Table 5. Indicators of consistency of ice cream samples

Образец	Твердость, Н		Клейкость, [мДж]		Адгезионная сила, [Н]		Жесткость, г	
	Me	SD	Me	SD	Me	SD	Me	SD
К	6,7 <sup>a</sup>	± 1,1	1,5 <sup>a</sup>	± 0,4	0,4 <sup>a</sup>	± 0,1	2,5 <sup>a</sup>	± 0,6
№ 2	3,0	± 0,7	0,8	± 0,2	0,2	± 0,1	1,3	± 0,5
№ 3	3,9	± 0,9	1,2 <sup>a</sup>	± 0,3	0,4 <sup>a</sup>	± 0,1	1,7	± 0,4
№ 4	6,3 <sup>a</sup>	± 0,8	2,0 <sup>a</sup>	± 0,1	0,5 <sup>a</sup>	± 0,1	2,8 <sup>a</sup>	± 0,6
№ 5	5,4 <sup>a</sup>	± 1,5	1,7 <sup>a</sup>	± 0,9	0,5 <sup>a</sup>	± 0,1	2,2 <sup>a</sup>	± 0,7

Примечание: значения с одинаковой буквой существенных различий не имеют.

Из представленной Таблицы следует, что процесс гидролиза оказывает значимое влияние на консистенцию продукта. Показатели консистенции образца № 3 в сравнении с образцом № 1 были сни-

жены в 1,1–1,7 раза. Наибольшее влияние гидролиз лактозы оказал на показатель твердости мороженого. Изменение количества СОМО в большей степени сказалось на показателях клейкости, адгезионной силы и жесткости. Увеличение СОМО с 7 до 15% привело к возрастанию показателей консистенции в 1,7–2 раза, однако их наибольшее значение установлено в образце, содержащем по 12% СОМО и сахара. Наименьшие значения клейкости и адгезионной силы при содержании СОМО 7% связано с низким количеством белков. Из-за большого количества полярных групп сывороточные белки характеризуются высоким межфазным взаимодействием, поэтому при снижении массовой доли белка уменьшается значение показателей «клейкость» и «адгезионная сила» [33]. Наиболее мягкое мороженое было получено при проведении гидролиза в образце с низкой массовой долей СОМО (7%). Снижение значений показателей текстуры образцов № 2 и № 3 объясняется уменьшением количества белка в составе СОМО, а также высокой степенью гидролиза лактозы на сахара с более низкой молекулярной массой. Образование углеводов с более низкой молекулярной массой привело к снижению криоскопической температуры. Это способствовало уменьшению твердости, что описано в работе Goff и Hartel [34]. Увеличение значений показателей текстуры образцов № 4 и № 5 произошло за счет доминирования влияния повышенного содержания белка СОМО над влиянием образовавшихся в процессе гидролиза моносахаров. Повышение кремообразности мороженого обусловлено более высокой исходной вязкостью смеси за счет влагоудерживающего эффекта белковых молекул, что в дальнейшем сказывается на плотности и твердости мороженого. Также сообщалось, что при снижении вязкости, что свойственно образцу № 5, содержание твердых частиц в объеме продукта увеличивается, в результате чего твердость возрастает [35]. Также на твердость оказывает влияние массовая доля жира в мороженом и его дисперсность, размер кристаллов льда, зависящий от массовой доли влаги в продукте и от ее доли в вымороженном состоянии на стадии производства и хранения. Заметное влияние на показатели текстуры оказывает снижение молекулярной массы углеводов в процессе гидролиза и количество белка.

### 3.3. Органолептическая оценка мороженого

В процессе органолептической оценки, представленной на Рисунке 5, дегустаторами были отмечены различия в показателях мороженого с различной массовой долей СОМО. Установлено, что снижение массовой доли СОМО в мороженом пломбир и проведение гидролиза лактозы влияет на показатели «плотности», «твердость» и «кремообразность». По этим показателям отличались от контроля образцы № 2 и № 3. В образцах № 4 и № 5 наблюдалось улучшение данных показателей. Также установлено снижение значений дескрипторов «ощущение сладости» и «молочный вкус, обусловленный содержанием СОМО».

Снижение вкусовых показателей, определяющих сладость и молочный вкус, обусловлено рецептурным составом исследуемых образцов. В частности, уменьшение доли сахарозы вызвало снижение интенсивности сладкого вкуса готового продукта. Молочный вкус, формируемый количеством СОМО, зависит от содержания



в нем белка, лактозы и минеральных солей. В связи с этим повышение СОМО до 15% привело к увеличению минеральных солей до нежелательного органолептически ощутимого их количества. Полученные результаты о влиянии СОМО на консистенцию и молочный вкус коррелируют с ранними исследованиями Koeferli и др. [36]. Это подтверждает отрицательное влияние как избытка СОМО, из-за чего снижается восприятие молочного вкуса, так и его недостатка.

#### 4. Выводы

Проведены исследования влияния гидролиза лактозы на показатели качества мороженого с массовыми долями жира 15% и СОМО 7–15%. Установлено, что при одной и той же массовой доле ферментного препарата (0,1%) по мере повышения массовой доли СОМО в образцах смеси и мороженого происходит:

- повышение уровня остаточной лактозы с 0,2% до 1,1%;
- увеличение динамической вязкости смеси;
- понижение криоскопической температуры на 0,6–0,8 °С;
- повышение термоустойчивости;
- снижение значений показателей консистенции в 1,1–1,7 раза при массовой доле СОМО 7 и 10% и их увеличение при значении СОМО 12 и 15%;
- снижение дисперсности воздушной фазы на этапе закаливания;
- улучшение показателей текстуры и повышение ощущения сладости.

Результаты исследований имеют практическое значение при решении вопроса производства низколактозного мороженого пломбир и повышения в нем массовой доли белка за счет белка СОМО.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alves, A.B., Santos Junior, W.F. dos., Faria, W.C.S., Nascimento, E., Lanzarin, M., Siqueira, P.B. et al. (2021). Development, characterization, and shelf-life of lactose-free artisan ice cream produced with different bases. *Research, Society and Development*, 10(9), Article e3210912712. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.12712>
2. Szilagyi, A., Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients*, 10(12), Article 1994. <https://doi.org/10.3390/nu10121994>
3. Batista, R.A.B., Assunção, D.C.B., de Oliveira Panaforte, F.R., Japur, C.C. (2018). Lactose in processed foods: Evaluating the availability of information regarding its amount. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(12), 4119–4128. <https://doi.org/10.1590/1413-812320182312.21992016> (In Portuguese)
4. Dekker, P.J., Koenders, D., Bruins, M.J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*, 11(3), Article 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
5. Brown-Esters, O.N., Namara, P.M., Savaiano, D.A. (2012). Dietary and biological factors influencing. *International Dairy Journal*, 22(2), 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.010>
6. Khrundin, D.V., Ponomarev, V. Ya, Yunusov, E. Sh. (2022). Fermented oat milk as a base for lactose-free sauce. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 155–162. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-155-162>
7. Dominici, S., Marescotti, F., Sanmartin, C., Macaluso, M., Taglieri, I., Venturi, F., et al. (2022). Lactose: Characteristics, food and drug-related applications, and its possible substitutions in meeting the needs of people with lactose intolerance. *Foods*, 11(10), Article 1486. <https://doi.org/10.3390/foods11101486>
8. Mullan, M. (2023). Controlling the hardness of ice cream, gelato and similar frozen desserts. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/fsat.3510>. 3.x (unpublished data)
9. Syed, Q.A., Anwar, S., Shukat, R., Zahoor, T. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(6), 422–432. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305>
10. Ademosun, A.O. (2021). Glycemic properties of soursop-based ice cream enriched with moringa leaf powder. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 207–214. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-207-214>
11. Shafique, B., Mahmood, S., Alam, M.Q., Saeed, W. (2019). Dynamic concerns of protein ice-cream: An analysis. *Acta Scientifi Nutritional Health*, 3(11), 73–78. <https://doi.org/10.31080/ASNH.2019.03.0490>
12. Ibrahim, S.A., Gyawali, R., Awaisheh, S.S., Ayivi, R.D., Silva, R.C., Subedi, K. et al. (2021). Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research*, 88(3), 357–365. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000625>
13. Ahmed, J.A.O., Ali H., El-Zubeir, I.E.M. (2020). The effect of lactose hydrolysis on rheological, physical and sensory characteristics of frozen yoghurt. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 9(1), 9–14.
14. Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C. et al. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ-carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>
15. Tsuchiya, A.C., da Silva, A. da G.M., Brandt, D., Kalschne, D.L., Drunkler, D.A., Colla, E. (2017). Lactose reduced ice cream enriched with whey powder. *Semina-Ciencias Agrarias*, 38(2), 749–758. <http://doi.org/10.5435/1679-0359.2017v38n2p749>
16. Арсеньева, Т.П., Яковлева, Ю.А., Максотова, Р.М., Оразбек, А.О. (2012). Низколактозное сливочное мороженое для диабетиков. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 1, Статья 11.
17. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277–288. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-2-6>
18. Nivetha, A., Mohanasrinivasan, V. (2–3 May, 2017). Mini review on role of β-galactosidase in lactose intolerance. The 14th International Conference on Science, Engineering the Technology (14th ICSET2017), 263(2), Article 022046. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/263/2/022046>
19. Matak, K.E., Wilson, J.H., Duncan, S.E., Wilson, E.J., Hackney, C.R., Sumner, S.S. (2003). The influence of lactose hydrolysis on the strength and sensory characteristics of vanilla ice cream. *Transactions of the ASABE*, 46(6), 1586–1593. <https://doi.org/10.13031/2013.15621>
20. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 367–374. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1011-1>
21. Rosolen, M.D., Gennari, A., Volpato, G., de Souza, C.F.V. (2015). Lactose hydrolysis in milk and dairy whey using microbial β-galactosidases. *Enzyme Research*, 2015, Article 806240. <https://doi.org/10.1155/2015/806240>
22. Adhikari, K., Dooley, L.M., Chambers IV, E., Bhumiratana, N. (2010). Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the United States. *LWT — Food Science and Technology*, 43(1), 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.017>
23. de Medeiros, A.C., Filho, E.R.T., Bolini, H.M.A. (2019). Impact of natural and artificial sweeteners compounds in the sensory profile and preference drivers applied to traditional, lactose-free, and vegan frozen desserts of chocolate flavor. *Journal of Food Science*, 84(10), 2973–2982. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14806>
24. Özdemir, C., Arslaner, A., Özdemir, S., Uğurlu, G. (2018). Ice-Cream Production from Lactose-Free UHT Milk. *Journal of Food Science and Engineering*, 8, 210–214. <http://doi.org/10.17265/2159-5828/2018.05.003>
25. Гурский, И.А., Творогова, А.А. (2022). Влияние концентратов сывороточных белков на технологические и органолептические показатели качества мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 52(3), 439–448. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>
26. Álvarez, V.B., Wolters, C.L., Vodovotz, Y., Ji, T. (2005). Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 862–871. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72752-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72752-1)
27. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Shobanova, T.V., Smykov, I.T. (2023). Effect of protein concentrates and isolates on the rheological, structural, thermal and sensory properties of ice cream. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 11(1), 294–306. <http://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22>
28. Baer, R.J., Keating, K.R. (1987). Determination of ice cream mix freezing points: A comparison of methods. *Journal of Dairy Science*, 70(3), 555–558. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80040-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80040-1)
29. Milliatti, M.C., Lannes, S.C. da S. (2018). Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. *Food Science and Technology*, 38(4), 733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>
30. Junior, E.D., Lannes, S.C. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology International*, 31(1), 217–220. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100033>
31. Chang, Y., Hartel, R.W. (2002). Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *Journal of Food Engineering*, 55(1), 59–70. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00242-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00242-4)
32. Hagiwara, T., Hartel, R.W. (1996). Effect of sweetener, stabilizer, and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. *Journal of Dairy Science*, 79(5), 735–744. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76420-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76420-2)
33. Guo, M., Wang, G. (2016). Whey protein polymerisation and its applications in environmentally safe adhesives. *International Journal of Dairy Technology*, 69(4), 481–488. <http://doi.org/10.1111/1471-0307.12303>
34. Goff, H.D., Hartel, R.W. (2013). *Ice Cream*. Boston, MA: Springer, 2013.
35. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G., Khetra, Y. (2021). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100029. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>
36. Koeferli, C.R.S., Piccinali, P., Sigrist, S. (1996). The influence of fat, sugar and non-fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice-cream. *Food Quality and Preference*, 7(2), 69–79. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0950-3293(95)00038-0)

## REFERENCES

1. Alves, A.B., Santos Junior, W.F. dos., Faria, W.C.S., Nascimento, E., Lanzarin, M., Siqueira, P.B. et al. (2021). Development, characterization, and shelf-life of lactose-free artisan ice cream produced with different bases. *Research, Society and Development*, 10(9), Article e3210912712. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.12712>
2. Szilagyi, A., Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients*, 10(12), Article 1994. <https://doi.org/10.3390/nu10121994>
3. Batista, R.A.B., Assunção, D.C.B., de Oliveira Panaforte, F.R., Japur, C.C. (2018). Lactose in processed foods: Evaluating the availability of information regarding its amount. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(12), 4119–4128. <https://doi.org/10.1590/1413-812320182312.21992016> (In Portuguese)
4. Dekker, P.J., Koenders, D., Bruins, M.J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*, 11(3), Article 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>

5. Brown-Esters, O.N., Namara, P.M., Savaiano, D.A. (2012). Dietary and biological factors influencing. *International Dairy Journal*, 22(2), 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.010>
6. Khrundin, D.V., Ponomarev, V. Ya, Yunusov, E. Sh. (2022). Fermented oat milk as a base for lactose-free sauce. *Foods and Raw Materials*, 10(1), 155–162. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-155-162>
7. Dominici, S., Marescotti, F., Sanmartin, C., Macaluso, M., Taglieri, I., Venturi, F., et al. (2022). Lactose: Characteristics, food and drug-related applications, and its possible substitutions in meeting the needs of people with lactose intolerance. *Foods*, 11(10), Article 1486. <https://doi.org/10.3390/foods11101486>
8. Mullan, M. (2023). Controlling the hardness of ice cream, gelato and similar frozen desserts. *Food Science and Technology*. [https://doi.org/10.1002/fsat.3510\\_3.x](https://doi.org/10.1002/fsat.3510_3.x) (unpublished data)
9. Syed, Q.A., Anwar, S., Shukat, R., Zahoor, T. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(6), 422–432. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305>
10. Ademosun, A.O. (2021). Glycemic properties of soursop-based ice cream enriched with moringa leaf powder. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 207–214. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-207-214>
11. Shaifque, B., Mahmood, S., Alam, M.Q., Saeed, W. (2019). Dynamic concerns of protein ice-cream: An analysis. *Acta Scientifi Nutritional Health*, 3(11), 73–78. <https://doi.org/10.31080/ASNH.2019.03.0490>
12. Ibrahim, S.A., Gyawali, R., Awaishah, S.S., Ayivi, R.D., Silva, R.C., Subedi, K. et al. (2021). Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research*, 88(3), 357–365. <https://doi.org/10.1017/s0022029921000625>
13. Ahmed, J.A.O., Ali H., El-Zubeir, I.E.M. (2020). The effect of lactose hydrolysis on rheological, physical and sensory characteristics of frozen yoghurt. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 9(1), 9–14.
14. Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C. et al. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with  $\kappa$ -carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838–7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>
15. Tsuchiya, A.C., da Silva, A. da G.M., Brandt, D., Kalschne, D.L., Drunkler, D.A., Colla, E. (2017). Lactose reduced ice cream enriched with whey powder. *Semina-Ciencias Agrarias*, 38(2), 749–758. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p749>
16. Arsenjeva, T.P., Yakovleva, Y.A., Maksotova, R.M., Orazbek A. O. (2012). Low lactose level creamy ice-cream for diabetics. *Processes and Food Production Equipment*, 1, Article 11. (In Russian)
17. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277–288. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-2-6>
18. Nivetha, A., Mohanasrinivasan, V. (2–3 May, 2017). Mini review on role of  $\beta$ -galactosidase in lactose intolerance. The 14th International Conference on Science, Engineering the Technology (14th ICSET2017), 263(2), Article 022046. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/263/2/022046>
19. Matak, K.E., Wilson, J.H., Duncan, S.E., Wilson, E.J., Hackney, C.R., Sumner, S.S. (2003). The influence of lactose hydrolysis on the strength and sensory characteristics of vanilla ice cream. *Transactions of the ASABE*, 46(6), 1586–1593. <https://doi.org/10.13031/2013.15621>
20. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 367–374. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1011-1>
21. Rosolen, M.D., Gennari, A., Volpato, G., de Souza, C.F.V., (2015). Lactose hydrolysis in milk and dairy whey using microbial  $\beta$ -galactosidases. *Enzyme Research*, 2015, Article 806240. <https://doi.org/10.1155/2015/806240>
22. Adhikari, K., Dooley, L.M., Chambers IV, E., Bhumiratana, N. (2010). Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the United States. *LWT — Food Science and Technology*, 43(1), 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.017>
23. de Medeiros, A.C., Filho, E.R.T, Bolini, H.M.A. (2019). Impact of natural and artificial sweeteners compounds in the sensory profile and preference drivers applied to traditional, lactose-free, and vegan frozen desserts of chocolate flavor. *Journal of Food Science*, 84(10), 2973–2982. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14806>
24. Özdemir, C., Arslaner, A., Özdemir, S., Uğurlu, G. (2018). Ice-Cream Production from Lactose-Free UHT Milk. *Journal of Food Science and Engineering*, 8, 210–214. <http://doi.org/10.17265/2159-5828/2018.05.003>
25. Gurskiy, I.A., Tvorogova, A.A. (2022). The effect of whey protein concentrates on technological and sensory quality indicators of ice cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), 439–448. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376> (In Russian)
26. Álvarez, V.B., Wolters, C.L., Vodovotz, Y., Ji, T. (2005). Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 862–871. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72752-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72752-1)
27. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Shobanova, T.V., Smykov, I.T. (2023). Effect of protein concentrates and isolates on the rheological, structural, thermal and sensory properties of ice cream. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 11(1), 294–306. <http://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22>
28. Baer, R.J., Keating, K.R. (1987). Determination of ice cream mix freezing points: A comparison of methods. *Journal of Dairy Science*, 70, 555–558. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80040-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80040-1)
29. Milliatti, M.C., Lannes, S.C. da S. (2018). Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. *Food Science and Technology*, 38(4), 733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>
30. Junior, E.D., Lannes, S.C. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology International*, 31(1), 217–220. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100033>
31. Chang, Y., Hartel, R.W. (2002). Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *Journal of Food Engineering*, 55(1), 59–70. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00242-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00242-4)
32. Hagiwara, T., Hartel, R.W. (1996). Effect of sweetener, stabilizer, and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. *Journal of Dairy Science*, 79(5), 735–744. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76420-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76420-2)
33. Guo, M., Wang, G. (2016). Whey protein polymerisation and its applications in environmentally safe adhesives. *International Journal of Dairy Technology*, 69(4), 481–488. <http://doi.org/10.1111/1471-0307.12303>
34. Goff, H.D., Hartel, R.W. (2013). Ice Cream. Boston, MA: Springer. 2013.
35. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G., Khetra, Y. (2021). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100029. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>
36. Koeflerli, C.R.S., Piccinalli, P., Sigrist, S. (1996). The influence of fat, sugar and non-fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice-cream. *Food Quality and Preference*, 7(2), 69–79. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0950-3293(95)00038-0)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<b>Творогова Антонина Анатольевна</b> — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85. E-mail: antvorogova@yandex.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7293-9162">https://orcid.org/0000-0001-7293-9162</a>	<b>Antonina A. Tvorogova</b> , Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: antvorogova@yandex.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7293-9162">https://orcid.org/0000-0001-7293-9162</a>
<b>Шобанова Татьяна Владимировна</b> – кандидат технических наук, научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: t.shobanova@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-6764-5020">http://orcid.org/0000-0001-6764-5020</a>	<b>Tatyana V. Shobanova</b> , Candidate of Technical Sciences, Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: t.shobanova@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0001-6764-5020">http://orcid.org/0000-0001-6764-5020</a>
<b>Гурский Игорь Алексеевич</b> — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7 (495) 610-83-85. E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8177-3472">https://orcid.org/0000-0002-8177-3472</a> * автор для контактов	<b>Igor A. Gurskiy</b> , Junior Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8177-3472">https://orcid.org/0000-0002-8177-3472</a> * corresponding author
<b>Казакова Наталия Владимировна</b> – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85. E-mail: nkazak.53@yandex.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-2963-6294">https://orcid.org/0000-0002-2963-6294</a>	<b>Natalia V. Kazakova</b> , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Ice Cream Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyakova Str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: nkazak.53@yandex.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-2963-6294">https://orcid.org/0000-0002-2963-6294</a>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
<b>А. А. Творогова</b> — постановка, научное руководство и анализ результатов исследований. <b>Т. В. Шобанова, И. А. Гурский</b> — обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований. <b>Н. В. Казакова</b> — обоснование и проверка применимости процесса ферментации лактозы в производственных условиях.	<b>A. A. Tvorogova</b> — formulation, scientific guidance and analysis of the research results. <b>T. V. Shobanova, I. A., Gurskiy</b> — a review of the scientific literature, conducting and processing of the experimental studies and results. <b>N. V. Kazakova</b> — substantiation and verification of the applicability of the lactose fermentation process in industrial conditions.
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.