

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201>

Поступила 07.07.2022

Поступила после рецензирования 28.07.2022

Принята в печать 02.08.2022

© Гурский И. А., Ландиховская А. В., Творогова А. А., 2022



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

Обзорная статья

Open access

# РАЗМОРОЖЕННЫЕ ПРОДУКТЫ С СОХРАНЕННОЙ МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРОЙ

Гурский И. А.\*, Ландиховская А. В., Творогова А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*размороженные продукты, изделия из муки, взбитые десерты, сохранение структуры*

## АННОТАЦИЯ

В современном мире, ввиду ритма и образа жизни потребителей, существует необходимость производства замороженных продуктов питания, готовых к потреблению после размораживания или разогрева. Важной задачей при этом является сохранение микро- и макроструктуры изделий из муки и взбитых десертов. В статье приведен анализ исследований аспектов производства и реализации замороженных готовых продуктов с сохраненной микро- и макроструктурой. Обоснована возможность позиционирования взбитых кисломолочных десертов в качестве продуктов функциональной направленности. В исследованиях для этой категории продукции особое внимание уделяется роли нутриентного состава (белков, жиров, стабилизаторов и эмульгаторов) и значимости технологических операций (фризерование и ферментация). Обращено внимание на состояние структурных элементов в замороженном и размороженном состояниях. Несмотря на отсутствие кристаллов льда в размороженных десертах, следует учитывать их влияние на дисперсность воздушной фазы в замороженном продукте. Установлено, что замороженная лапша является распространенным видом продукции в азиатских странах и потребление этого продукта растет из года в год. Другие виды продукции из муки (макаронные, хлебобулочные и кондитерские изделия) пользуются спросом как продукты быстрого питания. Перспективным направлением в производстве готовых продуктов питания является поиск решений и компонентов для сохранения макроструктуры продукта. Среди важных задач — поддержание товарного вида размороженного продукта, предотвращение роста кристаллов льда в замороженном состоянии и сохранение структуры белков. Значимое место в производстве макарон и хлебобулочных изделий занимает подбор криопротекторов — компонентов, обладающих способностью ингибировать рост кристаллов льда и способствующих сохранению макроструктуры продукта. Важным аспектом качества размороженной продукции является ее безопасность при размораживании, в частности необходим контроль микробиологических показателей, а также связанного с ним показателя активности воды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 075–01190–22–00 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Received 07.07.2022

Accepted in revised 28.07.2022

Accepted for publication 02.08.2022

© Gurskiy I. A., Landikhovskaya A. V., Tvorogova A. A., 2022

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

Review article

Open access

# DEFROSTED PRODUCTS WITH PRESERVED MICRO- AND MACROSTRUCTURE

Igor A. Gurskiy\*, Anna V. Landikhovskaya, Antonina A. Tvorogova

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

## KEY WORDS:

*defrosted products, flour products, aerated desserts, structure preservation*

## ABSTRACT

In the modern world, due to the consumers' pace of life and lifestyle, there is a need for production of frozen food products that are ready-to-eat after defrosting or heating. An important task, therewith, is preservation of the micro- and macrostructure of flour products and aerated desserts. The paper presents an analysis of studies of aspects of production and realization of frozen finished products with the preserved micro- and macrostructure. A possibility of positioning aerated fermented dairy desserts as functional products is substantiated. In investigation of this product category, particular emphasis is placed on the role of the nutrient composition (proteins, fats, stabilizers and emulsifiers) and an importance of technological operations (freezing and fermentation). Attention is given to the state of the structural elements in the frozen and defrosted states. Despite the absence of crystals in defrosted desserts, it is necessary to take into account their influence on dispersity of the air phase in a frozen product. It was found that frozen noodles are a common product type in Asian countries and consumption of this product is growing every year. Other flour products (macaroni, bakery and confectionery products) are in demand as fast-food products. A promising direction in production of finished food products is a search for solutions and components for preservation of the product macrostructure. Among important tasks are maintenance of the marketable appearance of a defrosted product, prevention of the ice crystal growth in the frozen state and preservation of the protein structure. An important place in production of macaroni and bakery products is occupied by selection of cryoprotectants — components having an ability to inhibit the ice crystal growth and facilitating preservation of the product macrostructure. An important aspect of frozen product quality is its safety upon defrostation. In particular, the control of microbiological indicators and the related water activity value is necessary.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гурский, И. А., Ландиховская А. В., Творогова, А. А. (2022). Размороженные продукты с сохраненной микро- и макроструктурой. *Пищевые системы*, 5(3), 195–201. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201>

FOR CITATION: Gurskiy, I. A., Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A. (2022). Defrosted products with preserved micro- and macrostructure. *Food Systems*, 5(3), 195–201. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201>

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 075–01190–22–00 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

## 1. Введение

Популярность готовых продуктов питания, подвергнутых замораживанию с целью увеличения сроков годности, растет во всем мире. Наибольший интерес представляют продукты высокой степени готовности, требующие подогрева или размораживания перед употреблением — их применение значительно сокращает время приготовления пищи. К видам такой продукции относятся готовые первые и вторые блюда, хлеб и хлебобулочные изделия, национальные блюда некоторых азиатских стран, торты и пирожные, замороженные взбитые десерты. Несмотря на различия в технологии приготовления, все вышеперечисленные продукты хранятся при отрицательных температурах.

Замораживание является одним из способов повышения безопасности и сроков годности пищевой продукции за счет предотвращения роста микроорганизмов, вызывающих пищевые отравления. Замороженные продукты приобретают большую популярность, что связано с развитием холодильной цепи. Однако в процессе замораживания молочной продукции могут произойти изменения в структуре продукта, а также в содержании биологически активных веществ и витаминов.

Предприятия общественного питания и магазины также пользуются технологиями замораживания готовых блюд, в частности обедов и ужинов. Продукты питания, предварительно прошедшие тепловую обработку, замораживаются до температуры минус 30 °С, которую они сохраняют до использования, после чего размораживаются до + 5 °С. При такой температуре их хранят до употребления и до последующего подогрева. Однако рост кристаллов льда, гидролиз и окисление жиров, происходящие в структуре продуктов, сказываются на качестве замороженных готовых блюд и ограничивают сроки хранения такого вида продукции [1,2].

Для потребителей важны органолептические показатели продуктов, стоимость и удобство их приготовления [3].

На качество размороженного продукта влияют: состояние готового блюда и его компонентов до замораживания, технология изготовления продукта, способы его замораживания и размораживания, а также условия хранения и реализации в торговых сетях. Размораживание готовых изделий приводит к изменению их структуры и других органолептически значимых показателей продукта, а также оказывает влияние на микробиологические показатели. Все отмеченное создает предпосылки для изучения показателей качества и безопасности продуктов, начиная с используемых компонентов и заканчивая условиями реализации изделия.

Особое место на рынке замороженных продуктов занимают их разновидности с сохраненной микро- и макроструктурой. Состояние макроструктуры замороженных продуктов в значительной степени определяется внешним видом и способностью изделия сохранять первоначальную форму. Микроструктура замороженных продуктов, к которым относят муссы и различного рода десерты, представлена воздушной фазой, состояние и дисперсность которой определяет не только форму (внешний вид), но и консистенцию продукта.

Целью данного обзора была оценка актуальности производства продукции, с целенаправленно создаваемой и сохраняемой после размораживания микро- и макроструктурой.

## 2. Кисломолочные десерты

### 2.1. Размороженные кисломолочные десерты: особенности производства

Среди размороженных взбитых десертов к продуктам, в которых наиболее сложно сохранить структуру, относятся кисломолочные десерты, изготавливаемые по технологии кисломолочного мороженого.

В соответствии с данными Росстата, одну из доминирующих позиций на рынке продуктов питания в России занимает производство кисломолочной продукции: йогуртов, творожных изделий, ряженки, сметаны и др. Повышенный спрос на кисломолочную продукцию в большом объеме связан с ее пищевой и биологической ценностью. Кисломолочные продукты оказывают положительное воздействие на желудочно-кишечный тракт, облегчают синдром раздраженного кишечника, влияют на сердечно-сосудистые заболевания, на артериальную гипертензию и липиды крови, а также снижают риск возникновения онкологических заболеваний, диабета, метаболического синдрома, лактазной недостаточности и нарушений костной системы [4].

Однако кисломолочные продукты характеризуются непродолжительным сроком годности. Замораживание продуктов с целью увеличения времени их хранения приводит к необратимым изменениям в структуре изделий. Специально разработанные кисломолочные десерты, изготавливаемые по технологии мороженого, после размораживания сохраняют свою исходную структуру. Размороженные кисломолочные десерты могут производиться как продукция функциональной направленности. За счет многокомпонентности состава в этих продуктах можно увеличить количество полезных нутриентов (белков, витаминов, пищевых волокон и др.) или уменьшить содержание нутриентов, недопустимых для потребления отдельными лицами (лактоза, сахароза, жиры и др.) [5]. Данную категорию продукции можно рекомендовать к потреблению практически всем группам населения, а также добавлять в меню в профилакториях, санаториях и других подобных организациях [6].

### 2.2. Аспекты производства взбитых размороженных десертов

Взбитые десерты целесообразно производить в соответствии с технологией мороженого, предусматривающей одновременное проведение процессов насыщения продукта воздухом и частичного замораживания во фризере специально приготовленной смеси. Данная технология состоит из нескольких этапов: для начала (на первой стадии) проводится смешивание сырьевых компонентов, их подогрев до температуры + 45 °С для лучшего растворения. Затем осуществляется гомогенизация смеси для диспергирования жировых частиц при температуре + 65 °С и давлении 10–22 МПа на первой ступени (в зависимости от массовой доли жира) и 4–5 МПа на второй ступени. Следующий этап — пастеризация смеси для уничтожения патогенной микрофлоры при температуре + 85 °С на протяжении 3–5 минут, после чего смесь охлаждают до + 20 °С и фризуют до температуры минус 5 °С. Далее происходит закалывание продукта при температуре минус 30 °С; для хранения изделия требуется температура не выше минус 18 °С [7]. Помимо использования технологии мороженого, при производстве десертов возможно применение метода их предварительного взбивания с последующим замораживанием. Такая технология для

создания подобной продукции не рассматривалась ранее, и этот факт позволяет провести ряд исследований в данном направлении.

Одним из основных аспектов в производстве аэрированных размороженных десертов является подбор компонентов для их изготовления: источников сухих веществ молока (молоко и молочная продукция), сахаров (сахароза, фруктоза) и стабилизирующих компонентов (стабилизаторы и эмульгаторы). Используемые стабилизаторы должны обладать хорошо выраженными желеобразующими свойствами, обуславливающими способность продукта сохранять форму порций в замороженном и размороженном состояниях, а также удерживать влагу после размораживания, образовывать вязкие гели, способствующие формированию высокодисперсной воздушной фазы. Кроме того, данные компоненты должны быть технологически функциональными на стадиях производственного процесса. Эмульгаторы, в свою очередь, должны создавать более гладкую текстуру продукта за счет структурирования жира и повышать способность смеси к насыщению воздухом [8].

Жиры оказывают значимое влияние на текстуру десерта: снижают риск появления сильно выраженного охлаждающего эффекта, твердости, ломкости и усадки при хранении. Также молочный жир играет важную роль в профилировании вкуса, поскольку он является основным его носителем, благодаря содержанию низкомолекулярных жирных кислот (масляной, капроновой и др.). Кроме того, жир является носителем вкуса и аромата пищевых продуктов и ароматических летучих соединений, формирует гладкую и кремообразную текстуру [9].

Белки, как и жир, являются основными нутриентами пищи, обуславливающими ее пищевую ценность, а также имеют значимое влияние на структуру готового десерта. Они принимают участие в формировании оболочек на жировых шариках, благодаря чему те приобретают стабильность, способствуют аэрированию и стабилизации пены, представленной в замороженном десерте высокодисперсной воздушной фазой. Это оказывает положительное влияние на консистенцию продукта и способствует снижению ощущения холода при потреблении готового изделия [10].

При изготовлении кисломолочных десертов перед фризацией смесь заквашивают молочнокислыми микроорганизмами (*L. Bulgaricus*, *L. Acidophilus*, *S. Thermophilus* и др.) [11] или же смешивают с уже готовыми кисломолочными продуктами (йогурт, сметана, ряженка и т. д.). В процессе ферментации происходит образование молочной кислоты, в результате чего снижается pH среды, что ведет к разворачиванию, денатурации и агрегации белковых молекул [12]. Изменение структуры белков приводит к увеличению вязкости смеси при их взаимодействии с водой с образованием гелей [13], что оказывает влияние на процесс фризирования и на формирование консистенции и структурных элементов десерта.

Замораживание десертов происходит в два этапа: осуществляется динамическое замораживание и статическое. Динамическое (фризирование) является обязательным этапом производства взбитых замороженных десертов, так как происходит формирование кристаллов льда и насыщение смеси воздухом. При статическом замораживании частично замороженный продукт затвердевает без перемешивания в специальной низкотемпературной среде, предназначенной для быстрого отвода тепла. В процессе замораживания происходят сложные явления: кристаллизация воды, распад и слияние пузырьков воздуха, а также агрегация или частичное слияние жировых шариков [14].

Аэрирование как процесс принудительного насыщения продукта воздухом играет важную роль в процессе изготовления многих пищевых продуктов. В зависимости от продолжительности данного процесса и конечной температуры фризирования, размеры сформированных воздушных ячеек и их дисперсность будут различны [15]. Пузырьки воздуха, находящиеся в продукте, позволяют создать текстуру с улучшенными показателями и привлекательный внешний вид. Насыщенные воздухом продукты характеризуются кремообразной консистенцией. Взбитая структура облегчает процесс пищеварения благодаря улучшению доступа фермента к субстратам [16]. Формирование кристаллов льда является одним из наиболее значимых этапов, так как морфология и размеры кристаллов льда влияют на состояние клеток молочнокислых микроорганизмов в готовом продукте. Уже при фризировании термомеханическое воздействие способствует разрушению и повреждению мембран бактериальных клеток, нарушению их функциональности и снижению их метаболической жизнеспособности [17]. Помимо растущих кристаллов льда, на микроорганизмы также влияет шоковая заморозка, приводящая к повышению концентрации внеклеточных и внутриклеточных растворенных веществ, а также к изменению объема микробных клеток и к их обезвоживанию.

### 2.3. Изменение структуры десертов при размораживании

Аэрированные кисломолочные десерты, как и мороженое, являются структурированными продуктами, состоящими из нескольких фаз. Составными частями их структуры являются: плазма, кристаллы льда, воздушные пузырьки, жировые шарики, их кластеры и структурированный белок в виде геля [18]. В процессе размораживания происходит изменение всех структурных элементов десерта, что сказывается на его органолептических показателях. К основным элементам структуры, претерпевающим изменения, относятся воздушные пузырьки и кристаллы льда, которые были сформированы в процессе фризирования [19]. Изменение структурных элементов в процессе размораживания оказывает влияние на показатели текстуры, ощущаемые непосредственно при употреблении продукта. К показателям текстуры можно отнести: твердость, липкость, адгезионную силу, кажущийся модуль, восстанавливаемую деформацию и другие [20,21]. Твердость — показатель, характеризующий прочность структуры продукта под воздействием нагрузки, его важно знать для оценки ощущений при пережевывании пищи [22]. Липкость — количественная оценка ощущений, когда продукт зажат между зубами, а восстанавливаемая деформация и модуль упругости позволяют количественно оценить эластичность продукта [23]. В зависимости от дисперсности структурных элементов и их размеров, данные показатели будут либо органолептически приемлемыми, либо нет, что подтверждается рядом зарубежных статей, описывающих исследования текстуры мороженого [24,25]. Кристаллы льда в процессе размораживания плавятся, а при хранении подвергаются перекристаллизации [26], в результате чего такие показатели, как твердость, липкость, модуль упругости, жесткость, адгезионная сила и др., изменяются, снижая качество готового изделия [27]. Увеличение размеров кристаллов льда происходит из-за образования недостаточного числа центров кристаллизации при фризировании, а также ввиду последующей кристаллизации на этих центрах свободной влаги и ее перекристаллизации при колебаниях температуры в процессе хранения. Под действием растущих кристаллов льда в незамороженной плазме (матрице) увеличивается давление внутри пузырьков воздуха, что также ведет к их повреждению и увеличению.

Несмотря на то, что после размораживания продукта кристаллы льда в нем не остаются, их рост необходимо регулировать. Постоянное увеличение размера кристаллов может привести к нежелательным изменениям структуры, а повреждение структуры кисломолочной продукции может привести к большей потере влаги в виде сыворотки, соответственно, и полезных для организма веществ [28]. В результате образования свободной влаги и повышения температуры существенным изменениям также подвержены и пузырьки воздуха: их структура меняется из-за таких процессов, как диспропорционирование и коалесценция [29]. Стабильность пены очень важна во взбитых продуктах, она зависит не только от условий хранения и реализации продукции, но и от нутриентного состава [30]. По данным зарубежных ученых, на стабильность пены таких продуктов, как муссы и десерты на молочной основе, значительное влияние оказывают белки и жиры. Белки как влагоудерживающие вещества способствуют стабильности эмульсии и образованию вязкоупругих межфазных пленок, которые оказывают определенное сопротивление диспропорционированию пузырьков [31]. Агломерированный жир образует матрицу, которая обеспечивает структуру и прочность пены [32]. Однако различные виды белков в разной степени влияют на стабильность пузырьков воздуха. В исследованиях различных белков в производстве мороженого было установлено как снижение, так и увеличение дисперсности воздушной фазы [33]. При этом в размороженных структурированных десертах изменение текстуры при размораживании, а также ее зависимость от структурных элементов изучены не были.

### 3. Изделия из муки

Развитие индустрии замороженных продуктов, употребляемых после размораживания, характерно для стран с невысоким доходом населения, в частности для Китая. В этой стране замораживают готовые к употреблению изделия из муки — лапшу и другие макаронные и хлебобулочные изделия, для которых важно сохранить первоначальный внешний вид (макроструктуру).

#### 3.1. Национальные азиатские продукты

Лапша является традиционным продуктом питания, употребляемым в азиатских странах. Это популярный продукт, пользующийся спросом у населения. Одним из вариантов лапши, представленной на прилавках, является замороженная лапша. Для приготовления лапши используют муку или крахмал с добавлением воды и внесением соли или щелочи в зависимости от рецептуры. Производят различные виды лапши, такие как соленая, желтая щелочная и крахмальная [34]. Применение щелочи (питьевой соды) обусловлено необходимостью сохранения формы изделий из лапши при отваривании и задачей подчеркнуть вкус лапши и вкусовых добавок. Перед замораживанием лапшу отваривают, затем направляют в холодильную камеру на непродолжительное время, поэтому данный вид лапши характеризуется быстротой приготовления: для ее размораживания требуется 1 минута, затем в лапшу добавляют ингредиенты для придания вкуса (соусы и специи). Высокие органолептические показатели лапши в размороженном состоянии повысили спрос на этот продукт, на долю ее производства приходится 45%. Производство замороженной лапши налажено в Японии и Китае [35]. В Японии производится 1,4 млрд упаковок замороженной лапши, в Китае — 2,0–2,5 млрд ежегодно с приростом 10% [36]. Технологический процесс приготовления лапши перед замораживанием также оказывает влияние на ее качество [37].

Вторым продуктом, близким по составу к лапше, производимым в Китае, является китайский паровой хлеб. В Корее популярность набирают замороженные рисовые лепешки [38].

#### 3.2. Изменение структуры замороженной лапши и парового хлеба во время хранения в замороженном состоянии

Учитывая, что лапша и хлеб содержат большое количество крахмала и белка, растворы которых при замораживании подвергаются деструкции, значительная часть исследований посвящена изучению влияния замороженной воды на качество этих продуктов при хранении. Образующиеся кристаллы льда при замораживании и их рост при колебаниях температуры могут физически повреждать белки в продукте. Переход воды в лед оказывает влияние на крахмал, связывающий значительное ее количество, воздействует на дрожжи и закваски, используемые при производстве парового хлеба [34].

В исследовании [39] авторы установили, что при хранении лапши в замороженном состоянии образуется «более грубая структура с крупными порами и прерывистой глютенной сетью с мелкими фрагментами». Подвижность воды при этом увеличивается, ее распределение в продукте становится неравномерным, что является причиной роста кристаллов льда. С целью ингибирования роста кристаллов льда возможно внесение дополнительных ингредиентов для улучшения качества продуктов.

В работе [36] изучалось влияние дополнительно вносимого количества глютена на качество замороженной вареной лапши. Для такого вида лапши желательными характеристиками после второго приготовления являются достаточная твердость в сочетании с упругостью, но после длительного хранения увеличивается ее липкость, что является нежелательным явлением для потребителей. Авторами работы было установлено, что внесение 3% глютена позволяет получить продукт с наименьшей липкостью поверхности и высокими органолептическими показателями.

Ученые из Китая рассматривали в своем исследовании [40] влияние соевого молока на состояние воды при хранении лапши в замороженном состоянии. Авторы предполагают, что входящие в состав соевого молока белки и полисахариды взаимодействуют с глютенном, что приводит к повышению влагоудерживающей способности и ингибированию роста кристаллов льда.

Авторы исследования [41] изучали влияние курдлан (внеклеточный полисахарид) на агрегацию белка глютена с целью улучшения качества замороженной лапши. В другой работе [42] оценивали действие курдлан на состояние воды в лапше; установлено, что 0,5% курдлан подавляют подвижность и миграцию воды в продукте.

#### 3.3. Макароны изделия

Изучением свойств и качества замороженных макаронных изделий занимаются и в других странах, помимо Японии и Китая [43]. Авторы работы [44] изучали влияние способов замораживания (заморозка в туннели при подаче воздуха и криогенное замораживание) на качество органической тальятелле, о качестве судили по текстуре и органолептическим показателям. Данные исследования подтверждают, что криогенное замораживание более эффективно. Быстрое замораживание позволяет получить макаронные изделия по качеству, приближенному к свежеприготовленному продукту.

#### 3.4. Хлебобулочные изделия

Приготовленная свежая выпечка и хлеб претерпевают изменения в виде черствения, что характерно также для готового бисквита, являющегося основой для изготовления

торгов [45]. При хранении хлебобулочных изделий в замороженном состоянии происходит ретроградация крахмала. Ранее было установлено, что цикл «замораживание — оттаивание» хлеба эквивалентен суткам черствения при температуре окружающей среды, поскольку максимальная скорость черствения, характерная для температуры 4 °С, наблюдается дважды. Максимальная скорость черствения кондитерских изделий происходит при температуре 25 °С, при температуре 0 °С происходит ее снижение [46].

В соответствии с регламентом Европейского Союза № 1169/2011, существует необходимость информирования покупателя о том, что продукт размороженный. Данное правило не распространяется в том случае, если производитель сможет доказать, что размораживание не сказалось на качестве и безопасности продукта. Учитывая это требование, в работе [47] изучали микробиологическую безопасность и органолептические изменения типичных бельгийских изделий: хлебобулочных изделий, сэндвичей, бисквита и пирога после временного замораживания (от 2 до 4 дней, в зависимости от вида продукции).

В исследовании [48] установлено, что внесение 0,3% и 0,5% гуаровой камеди в тесто увеличивает устойчивость к замораживанию и оттаиванию замороженных приготовленных овсяных булочек.

#### 4. Безопасность размороженных продуктов

Одними из важнейших показателей готового продукта являются их показатели безопасности. К показателям безопасности относятся косвенные микробиологические показатели (КМАФАнМ, плесневые грибы, дрожжи), санитарно-показательные микроорганизмы (БГКП, протей, клостридии) условно-патогенные и патогенные микроорганизмы (листерии, золотистый стафилококк, синегнойная палочка и др.), содержание токсичных элементов (свинец, мышьяк, кадмий), пестицидов (ГХЦГ, ДДТ), микотоксинов (афлатоксин), а также показатели окислительной порчи (кислотное, анизидиное, перекисное числа и др.). Различные группы микроорганизмов растут в соответствующих своему оптимуму роста температурных диапазонах. Психрофильные группы микроорганизмов развиваются при температуре от 15 до 20 °С, в наибольшей степени их развитию способствует температура около 10 °С. Психротрофные микроорганизмы обычно растут при температуре от минус 5 до плюс 35 °С. Наиболее быстрый их рост происходит между 20 и 30 °С. Мезофильные микроорганизмы характеризуются тенденцией роста между 10 и 35 °С и быстрее всего развиваются при температуре 30 °С. Термофильные микроорганизмы, как правило, растут при температуре от 40 °С до 90 °С и быстрее всего между 55 °С и 66 °С. В более общем плане большинство патогенных микроорганизмов способны расти при температуре от 8,0 °С до 63,0 °С, по этой причине данный диапазон температур называется «опасной зоной». В связи с чем, необходимо употребить продукт в течение 24 ч после размораживания [49].

Если на токсичные элементы, пестициды и микотоксины процесс размораживания не оказывает влияния, то микробная обсемененность может увеличиться, т. к. при повышении температуры продукта снижается количество вымороженной влаги, что ведет к увеличению активности воды; температура оптимума также окажется благоприятной для развития микробов. Различные микроорганизмы имеют разные требования к показателю активности воды. Грамотрицательным микроорганизмам требуются для роста минимальные значения данного показателя от 0,96 до 0,93, в то время как грамположительные, не образующие спор организмы, могут расти при более низких значениях активности воды от 0,85 до 0,94 [50].

Кроме того, повышение температуры приведет к ускорению биохимических реакций, в результате чего окислительная порча будет происходить значительно быстрее. В первую очередь окисление жирных кислот под действием кислорода воздуха вызывает накопление перекисных и карбонильных соединений. Более глубокое окисление триацилглицеридов сопровождается образованием перекисных соединений, альдегидов, кетонов и др. [51]. При этом в продукте появляются посторонние привкусы и запахи. Также альдегиды и кетоны могут быть цитотоксическими, мутагенными и канцерогенными, что негативно скажется на здоровье потребителя [52]. Соответственно, необходимо контролировать температуры, при которых продукт будет не только храниться, но и реализовываться в размороженном виде.

#### 5. Выводы

На основании изложенного можно сделать вывод, что сохранность микро- и макроструктуры в размороженных продуктах в значительной степени обеспечивается технологиями их производства и композиционным составом.

Размороженные кисломолочные десерты являются продуктами со сложной микроструктурой, качество и безопасность которых зависит от разных факторов. Для обеспечения высокого качества продукта в размороженном состоянии, включая стабильность микроструктуры, необходимо контролировать показатели смеси и готового десерта, а также состояние его структурных элементов до и после размораживания. Важно строго соблюдать все условия хранения и реализации этого продукта во избежание ухудшения его текстуры.

При изготовлении макаронных и хлебобулочных изделий применяются технические решения по сохранению их потребительских характеристик в размороженном состоянии. С этой целью исследуются и определяются факторы, влияющие на их макроструктуру, в частности состояние кристаллов льда и белков. Проводятся исследования с целью обоснования мер по сохранению структуры и органолептических показателей размороженных продуктов.

Для всех видов продукции после размораживания важной задачей считается обеспечение микробиологической безопасности, особенно для изделий, не подвергаемых перед употреблением дополнительной термической обработке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Bekhit, A. E., Roohinejad, S. (2016). Cook-chilled and cook-frozen foods. Chapter in a book: Reference module in food science. Amsterdam: Elsevier. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03348-5>
2. Kumar, P. K., Parhi, A., Sablani, S. S. (2021). Development of high-fiber and sugar-free frozen pancakes: Influence of state and phase transitions on the instrumental textural quality of pancakes during storage. *LWT*, 146, Article 111454. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111454>
3. Costa, A. I. d A., Schoolmeester, D., Dekker, M., Jongen, W. M. F. (2007). To cook or not to cook: A means-end study of motives for choice of meal solutions. *Food Quality and Preference*, 18(1), 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.08.003>
4. Savaiano, D. A., Hutkins, R. (2020). Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 79, 599–614. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa013>
5. Gurskiy I., Tvorogova. A. (2022, 14–15 April). *Study of the consistency of defrosted aerated fermented milk desserts by rheological methods*. Directed Transformation of Alimentary Raw Materials in the Production of Foodstuffs, Food and Biologically Active Additives, Ensuring Quality Control

- and Safety (DTARM 2022), Krasnodar, Russia. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224601003>
6. Cruz, A. G., Antunes, A. E., Sousa, A. L., Faria, J. D., Saad, S. M. (2009). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 42(9), 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>
  7. Mule, S. M., Kadam, S. S., Dandekar, V. S., Ramod, S. S., Desai, B., Narkhede, S. L. (2020). Manufacturing technology and production cost of ginger (*Zingiber officinale* L.) and Aloe vera (*Aloe barbadensis*) juice enriched probiotic (*L. acidophilus*) ice cream. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 185–188. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2c.8765>
  8. Loffredi, E., Moriano, M. E., Masseroni, L., Alamprese, C. (2021). Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. *LWT*, 137, Article 110499. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110499>
  9. Akbari, M., Eskandari, M. H., Davoudi, Z. (2019). Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.036>
  10. Goff, H. D. (2016). Milk proteins in ice cream. Chapter in a book: *Advanced Dairy Chemistry*. Springer, New York, NY, 2016. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_13)
  11. Hussein, Z. El H., Silva, J. M., Alves, E. S., Castro, M. C., Ferreira, C. S. R., Chaves, M. L. C. et al. (2021). Technological advances in probiotic stability in yogurt: a review. *Research, Society and Development*, 10(12), Article e449101220646. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20646>
  12. Tarhan, Ö., Kaya, A., Gözler, M. (2021). Effect of fermentation on the milk allergen proteins during yogurt-making. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 4(2), 94–103. <https://doi.org/10.47137/uujes.1032643>
  13. Dahhana, H. A., Sania, N. A. (2017). The interaction effect of mixing starter cultures on homemade natural yogurt's pH and viscosity. *International Journal of Food Studies*, 6(2), 152–158. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.2.2017.a3>
  14. Masuda, H., Sawano, M., Ishihara, K., Shimoyamada, M. (2020). Effect of agitation speed on freezing process of ice cream using a batch freezer. *Journal of Food Process Engineering*, 43(4), Article e13369. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13369>
  15. Giudici, P., Baiano, A., Chiari, P., De Vero, L., Ghanbarzadeh, B., Falcone, P. M. (2021). A Mathematical modeling of freezing process in the batch production of ice cream. *Foods*, 10(2), Article 334. <https://doi.org/10.3390/foods10020334>
  16. Bikos, D. A., Samaras, G., Cann, P., Masen, M. A., Hardalupas, Y., Hartmann, C. et al. (2021). Effect of micro-aeration on the mechanical behaviour of chocolates and implications for oral processing. *Food and Function*, 12(11), 4864–4886. <https://doi.org/10.1039/d1fo00045d>
  17. Kemsawasd, V., Chaikham, P. (2020). Effects of frozen storage on viability of probiotics and antioxidant capacities of synbiotic riceberry and sesame-riceberry milk ice creams. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(1), 107–121. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.10>
  18. Warren, M. M., Hartel, R. W. (2018). Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of Food Science*, 83(3), 639–647. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13983>
  19. Duquenne, B., Vergauwen, B., Capdepon, C., Boone, M. A., De Schryver, T. D., Van Hoorebeke, L. V. et al. (2016). Stabilising frozen dairy mousses by low molecular weight gelatin peptides. *Food Hydrocolloids*, 60, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.001>
  20. Srinu, D., Baskaran, D., Dora, R.P. (2022). Physico-chemical and texture analysis of ice cream prepared by incorporating various spices. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 41(1), 28–32. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1715>
  21. Buriti, F. C. A., Castro, I. A., Saad, S. M. I. (2010). Effects of refrigeration, freezing and replacement of milk fat by inulin and whey protein concentrate on texture profile and sensory acceptance of synbiotic guava mousses. *Food Chemistry*, 123(4), 1190–1197. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.085>
  22. Farhah, A. N., Ekantari, N. (2019, 8–9 July). *Combination of sodium alginate and Kappa-Carrageenan increases texture stability of spirulina platens is ice cream*. The 3rd International Symposium on Marine and Fisheries Research (3rd ISMFR), Yogyakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703006>
  23. Shirvani, M., Ghanbarian, D., Ghasemi-Varnamkhasi, M. (2014). Measurement and evaluation of the apparent modulus of elasticity of apple based on Hooke's, Hertz's and Boussinesq's theories. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 54, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.014>
  24. Hossain, M. K., Petrov, M., Hensel, O., Diakitè, M. (2021). Microstructure and physicochemical properties of light ice cream: Effects of extruded microparticulated whey proteins and process design. *Foods*, 10(6), Article 1433. <https://doi.org/10.3390/foods10061433>
  25. Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., Sołowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3), 157–165. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>
  26. Lomolino, G., Zannoni, S., Zabara, A., Da Lio, M., De Iseppi, A. (2020). Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. *International Dairy Journal*, 100, Article 104557. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104557>
  27. Atallah, A. A., Morsy, O. M., Gemiel, D. G. (2020). Characterization of functional low-fat yogurt enriched with whey protein concentrate, Caseinate and spirulina. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1678–1691. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1823409>
  28. Vareltzis, P., Adamopoulos, K., Stavarakis, E. K., Stefanakis, A., Goula, A. M. (2016). Approaches to minimise yoghurt syneresis in simulated tzatziki sauce preparation. *International Journal of Dairy Technology*, 69, 191–199. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12238>
  29. Guo, E., Zeng, G., Kazantsev, D., Rockett, P., Bent, J., Kirkland, M.A. et al. (2017). Synchrotron X-ray tomographic quantification of microstructural evolution in ice cream – a multi-phase soft solid. *RSC Advances*, 7(25), 15561–15573. <https://doi.org/10.1039/C7RA00642J>
  30. Ghaderi, S., Mazaheri Tehrani, M., Hesarinejad, M. A. (2021). Qualitative analysis of the structural, thermal and rheological properties of a plant ice cream based on soy and sesame milks. *Food Science and Nutrition*, 9(3), 1289–1298. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2037>
  31. 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), 422–435. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305>
  32. Ho, T. M., Bhandari, B., Bansal, N. (2020). Influence of milk fat on foam formation, foam stability and functionality of aerated dairy products. Chapter in a book: *Dairy Fat Products and Functionality*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41661-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41661-4_24)
  33. Moschopoulou, E., Dernikos, D., Zoidou, E. (2021). Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin. *International Dairy Journal*, 122, Article 105146. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105146>
  34. Zhu, F. (2021). Frozen steamed breads and boiled noodles: Quality affected by ingredients and processing. *Food Chemistry*, 349, Article 129178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129178>
  35. Obadi, M., Zhang, J., Shi, Y., Xu, B. (2021). Factors affecting frozen cooked noodle quality: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 662–673. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.033>
  36. Wang, Y.-H., Zhang, Y.-R., Yang, Y.-Y., Shen, Jin-Q., Zhang, Q.-M., Zhang, G.-Z. (2022). Effect of wheat gluten addition on the texture, surface tackiness, protein structure, and sensory properties of frozen cooked noodles. *LWT*, 161, Article 113348. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113348>
  37. Wang, Y.-H., Zhang, Y.-R., Xu, F., Zhang, Y.-L. (2020). Effect of boiling and steaming on the surface tackiness of frozen cooked noodles. *LWT*, 130, Article 109747. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109747>
  38. Ku, S.-K., Hong, J.-S., Choi, H.-D., Park, J.-D., Kim, Y.-B., Choi, H.-W. et al. (2018). A study of the quality characteristics of frozen Korean rice cake by using different thawing methods. *Food Science and Biotechnology*, 27(5), 1343–1351. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0376-3>
  39. Liu, Q., Guo, X.-N., Zhu, K.-X. (2019). Effects of frozen storage on the quality characteristics of frozen cooked noodles. *Food Chemistry*, 283, 522–529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.068>
  40. He, L.-D., Guo, X.-N., Zhu, K.-X. (2019). Effect of soybean milk addition on the quality of frozen-cooked noodles. *Food Hydrocolloids*, 87, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.048>
  41. Liu, H., Liang, Y., Chen, Z., Liu, M., Qu, Z., He, B. et al. (2021). Effect of curdlan on the aggregation behavior of gluten protein in frozen cooked noodles during cooking. *Journal of Cereal Science*, 103, Article 103395. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103395>
  42. Liang, Y., Qu, Z., Liu, M., Zhu, M., Zhang, X., Wang, L. et al. (2020). Further interpretation of the strengthening effect of curdlan on frozen cooked noodles quality during frozen storage: Studies on water state and properties. *Food Chemistry*, 346, Article 128908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128908>
  43. Redmond, G. A., Gormley, T. R., Butler, F. (2005). Effect of short- and long-term frozen storage with MAP on the quality of freeze-chilled lasagne. *LWT – Food Science and Technology*, 38(1), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.012>
  44. Olivera, D. F., Salvadori, V. O. (2009). Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.041>
  45. Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., Salgado-Cruz, M.D.L.P., Chanona-Pérez, J. J., Andraca-Adame, J. A., Ribotta, P. D. (2016). Sponge cake microstructure, starch retrogradation and quality changes during frozen storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1744–1753. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13081>
  46. Cauvain, S. (1998). Improving the control of staling in frozen bakery products. *Trends in Food Science and Technology*, 9(2), 56–61. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00003-X)
  47. Van Bockstaele, F., Debonne, E., De Leyn, I., Wagemans, K., Eeckhout, M. (2021). Impact of temporary frozen storage on the safety and quality of four typical Belgian bakery products. *LWT*, 137, Article 110454. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110454>
  48. Gong, Y., Dong, R., Zhang, K., Li, Y., Hu, X. (2021). The modulatory effect of guar gum on freeze-thaw stability of cooked oat roll. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, Article 100032. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100032>
  49. FSA (Food Standards Agency). (2000). The effects of consumer freezing of food on its use-by date. Retrieved from <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/the-effects-of-consumer-freezing-of-food-on-its-use-by-date.pdf>. Accessed May 20, 2022. <https://doi.org/10.46756/SCI.FSA.RET874>

50. Tapia, M. S., Alzamora, S. M., Chirife, J. (2020). Effects of Water Activity ( $a_w$ ) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation. Chapter in a book: *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2020. <https://doi.org/10.1002/9780470376454.CH10>
51. Yatsenko, O., Yushchenko, N., Kuzmyk, U., Pasichnyi, V., Kochubei-Lytvynenko, O., Frolova, N. et al. (2020). Research of milk fat oxidation processes during storage of butter pastes. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 443–450 <https://doi.org/10.5219/1283>
52. Sinharoy, P., McAllister, S. L., Vasu, M., Gross, E. R. (2019). Environmental aldehyde sources and the health implications of exposure. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1193, 35–52. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6260-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6260-6_2)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p><b>Игорь Алексеевич Гурский</b> — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: <a href="mailto:iiixrug@yandex.ru">iiixrug@yandex.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8177-3472">https://orcid.org/0000-0002-8177-3472</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Igor A. Gurskiy</b>, Junior Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: <a href="mailto:iiixrug@yandex.ru">iiixrug@yandex.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8177-3472">https://orcid.org/0000-0002-8177-3472</a> * corresponding author</p>
<p><b>Ландиховская Анна Валентиновна</b> — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: <a href="mailto:anna.landih@yandex.ru">anna.landih@yandex.ru</a> ORCID-<a href="https://orcid.org/0000-0001-5881-2309">https://orcid.org/0000-0001-5881-2309</a></p>	<p><b>Anna V. Landikhovskaya</b>, Junior Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: <a href="mailto:anna.landih@yandex.ru">anna.landih@yandex.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5881-2309">https://orcid.org/0000-0001-5881-2309</a></p>
<p><b>Творогова Антонина Анатольевна</b> — доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: <a href="mailto:antvogova@yandex.ru">antvogova@yandex.ru</a> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7293-9162">https://orcid.org/0000-0001-7293-9162</a></p>	<p><b>Antonina A. Tvorogova</b>, Doctor of Technical Sciences, Docent, Chief Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: <a href="mailto:antvogova@yandex.ru">antvogova@yandex.ru</a> ORCID-<a href="https://orcid.org/0000-0001-7293-9162">https://orcid.org/0000-0001-7293-9162</a></p>
Критерии авторства	Contribution
<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>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>