

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-182-187>

Поступила 16.01.2024

Поступила после рецензирования 08.04.2024

Принята в печать 15.04.2024

© Ландиховская А. В., Творогова А. А., Кочнева С. Е., 2024

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

Научная статья

Open access

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ В МОЛОКОСОДЕРЖАЩЕМ МОРОЖЕНОМ С МИКРОПАРТИКУЛЯТОМ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

Ландиховская А. В.*, Творогова А. А., Кочнева С. Е.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

гидроколлоиды,
вязкоупругие
характеристики,
структура,
воздушная фаза,
кристаллы льда

Гидроколлоиды стабилизационных систем являются необходимыми компонентами в производстве мороженого. Они влияют на вязкость, стабилизацию структурных элементов и скорость таяния. Особенно важна их роль в производстве мороженого с низким содержанием жира и сухого обезжиренного молочного остатка. В настоящее время специализированные стабилизационные системы для изготовления такого мороженого отсутствуют. Кроме того, при выборе стабилизационных систем существуют проблемы экономического характера, связанные с увеличением цены на эффективный полисахарид — камедь рожкового дерева. Целью исследования являлось обоснование состава эффективной композиции гидроколлоидов с использованием доступной их разновидности ксантановой камеди с целью применения в производстве молокосодержащего мороженого (с пониженным содержанием жира и сухих обезжиренных веществ молока). Для достижения наилучших показателей качества в молокосодержащее мороженое был внесен микропартикулят сыровоточных белков. На основании синергетических свойств гидроколлоидов по показателю «динамическая вязкость» был определен состав 4 композиций с содержанием ксантановой камеди 8,6% (в образце № 1 и № 2), 16% (в образце № 3) и 3% (в образце № 4). В качестве контрольного образца было выработано мороженое с комплексной стабилизационной системой торговой марки Cremodan 334. Во всех образцах были определены следующие показатели: динамическая вязкость, вязкоупругие характеристики (твердость, адгезионная сила, клейкость), скорость таяния, состояние и дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда. Все разработанные композиции по показателю «вязкость» превосходили контрольный образец в 1,2–2 раза. Было установлено, что замена фракции каппа-каррагинана в количестве 50% на йота-каррагинан в сочетании с гуаровой и ксантановой камедями приводит к снижению вязкости в 1,3 раза. В образцах с испытываемыми гидроколлоидными композициями произошло снижение вязкоупругих характеристик. При использовании йота-каррагинана (образцы № 2 и № 4) было выявлено заметное уменьшение термоустойчивости мороженого в образце № 4. Кроме того, наблюдалось снижение дисперсности воздушной фазы (содержание воздушных пузырьков размером до 50 мкм сократилось почти на 30%). На основании результатов исследований было установлено, что композиция гидроколлоидов образца мороженого № 1, состоящая из моно- и диглицеридов жирных кислот, гуаровой камеди, ксантановой камеди и каппа-каррагинана, позволяет получать продукт с технологически необходимыми показателями качества и с наиболее кремообразной консистенцией.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022-0013 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 16.01.2024

Accepted in revised 08.04.2024

Accepted for publication 15.04.2024

© Landikhovskaya A. V., Tvorogova A. A., Kochneva S. E., 2024

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

Original scientific article

Open access

THE USE OF XANTHAN GUM IN A MILK-CONTAINING ICE CREAM WITH THE WHEY PROTEIN MICROPARTICULATE

Anna V. Landikhovskaya*, Antonina A. Tvorogova, Svetlana E. Kochneva

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry

KEY WORDS:

hydrocolloids,
visco-elastic
characteristics,
structure, air phase,
ice crystals

ABSTRACT

Hydrocolloids of stabilization systems are necessary components in ice cream production. They influence viscosity, stabilization of structural elements and melting rate. Their role is especially important in production of ice cream with the low content of fat and nonfat milk solids. Today, specialized stabilization systems for production of such ice cream are absent. Moreover, when choosing stabilization systems, there are problems of economic character that are linked with an increase in prices on the effective polysaccharide — locust bean gum. The aim of the research was substantiation of the composition of the effective formulation of hydrocolloids using their available variety, xanthan gum, to use in production of milk-containing ice cream (with the reduced content of fat and dry nonfat milk substances). To achieve the best quality indicators, a whey protein microparticulate was introduced into milk-containing ice cream. Based on the synergetic properties of hydrocolloids in terms of dynamic viscosity, the composition of four formulations was determined with the content of xanthan gum of 8.6% (in samples 1 and 2), 16% (in sample 3) and 3% (in sample 4). Ice cream with the complex stabilization system of the trademark Cremodan 334 was produced as a control sample. The following indicators were determined in all samples: dynamic viscosity, visco-elastic characteristics (hardness, adhesion strength, gumminess), melting rate, condition and dispersity of the air phase and ice crystals. All developed formulations were superior to the control sample in terms of viscosity by 1.2–2 times. It has been found that replacement of the kappa-carrageenan fraction with iota-carrageenan in combination with guar gum and xanthan gum in an amount of 50% leads to a decrease in viscosity by 1.3 times. A reduction of visco-elastic characteristics was noted in the samples of hydrocolloid formulations under study. When using iota-carrageenan (samples 2 and 4), a notable reduction of thermal stability of ice cream was revealed in sample 4. Furthermore, a decrease in dispersity of the air phase was observed; the content of air bubbles with a size of 50 μm reduced by almost 30%. Based on the results of the investigations, it has been established that the formulation of hydrocolloids of ice cream sample 1, which consists of mono- and di-glycerides of fatty

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ландиховская, А. В., Творогова, А. А., Кочнева, С. Е. (2024). Использование ксантановой камеди в молокосодержащем мороженом с микропартикулятом сыровоточных белков. *Пищевые системы*, 7(2), 182–187. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-182-187>

FOR CITATION: Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A., Kochneva, S. E. (2024). The use of xanthan gum in a milk-containing ice cream with the whey protein microparticulate. *Food Systems*, 7(2), 182–187. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-182-187>

acids, guar gum, xanthan gum and kappa-carrageenan, allows obtaining a product with technologically necessary quality indicators and the most cream-like consistency.

FUNDING: The article is prepared as part of the research under the State Assignment No. FGUS-2022-0013 of Gorbatov Federal State Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences.

1. Введение

В производстве мороженого стабилизаторы являются технологически необходимыми ингредиентами. В качестве стабилизаторов применяют гидроколлоиды (полисахариды и белки) [1]. Основная роль гидроколлоидов в мороженом — влияние на вязкость смеси, необходимый уровень которой способствует формированию кремообразной консистенции, обеспечивает устойчивость к тянанию и оказывает положительное влияние на процесс формирования кристаллов льда, а также препятствует их рекристаллизации в процессе хранения мороженого [2].

Гидроколлоиды бывают животного происхождения (желатин, хитозан), продуктами ферментации (ксантановая и геллановая камеди), частью растений (пектин), экстрактами водорослей (каррагинаны и агар) и семян (камеди гуаровая, рожковая, тара) и др. [3,4]. Молекулы гидроколлоидов содержат большое количество гидроксильных групп, позволяющих им взаимодействовать между собой и с другими веществами, усиливая эффективность друг друга [5]. Повышение функциональных свойств гидроколлоидов является целью создания их синергетических композиций. Наиболее применяемыми стабилизаторами в составе их композиций для мороженого являются камеди (рожковая, гуаровая, тары), каппа-каррагинан и карбоксиметилцеллюлоза.

Обязательным компонентом композиций гидроколлоидов является каррагинан. Каппа- и йота каррагинаны чаще всего используются в качестве стабилизаторов для мороженого, несмотря на отличие их функциональных свойств [6,7,8]. Каппа разновидность образует комплексы с белком, что повышает стабильность коллоидных систем, в частности связывается с поверхностью мицелл казеина и препятствует расслоению молочных продуктов [9]. Однако взаимодействие каппа-каррагинана с мицеллами казеина ослабляется после цикла температурных колебаний [10].

Часто в составе композиций гидроколлоидов для мороженого присутствует гуаровая камедь, которая известна как сравнительно дешевый и эффективный загуститель. Благодаря большому количеству водородных связей, она способствует формированию высокой вязкости растворов с выраженной псевдопластичной текучестью, что делает ее одним из самых популярных стабилизаторов [11,12].

Наиболее эффективным гидроколлоидом стабилизационных систем в производстве мороженого признана камедь рожкового дерева, основным эффектом от использования которой является положительное влияние на дисперсность кристаллов льда и ее сохранение в процессе хранения готового продукта. Однако в настоящее время отмечается ее дефицит на рынке сырья. Практический интерес представляет подбор гидроколлоида для замены камеди рожкового дерева по технологическим свойствам. На текущий момент доступной для использования в составе комплексных пищевых добавок является ксантановая камедь, поставляемая из Китая. Ксантановая камедь — биополимер, получаемый микробным синтезом. Она образует высоковязкие растворы, характеризуется способностью переходить в коллоидную степень дисперсности (растворяться) как в холодной, так и в горячей воде [13,14]. Благодаря высокому содержанию гидроксильных групп и их расположению в молекуле, ксантановая камедь удерживает большое количество воды, тем самым предотвращая рост кристаллов льда при замораживании продуктов питания [15]. Сочетания ксантановой камеди с гуаровой или с каппа-каррагинаном способствуют увеличению динамической вязкости, а ее взаимодействие с камедью рожкового дерева вызывает образование гелей [16].

Усилить функциональные свойства полисахаридов можно при их совместном использовании с белками [17,18]. Их межмолекулярное взаимодействие позволяет увеличить вязкость коллоидных систем, усилить стабилизацию на границе раздела фаз [19]. В качестве белковых компонентов можно использовать концентраты и изоляты сывороточных белков, концентраты молочного белка и микропартикулят сывороточного белка. Сывороточные белки обладают важными технологически функциональными качествами, такими, как способность к гелеобразованию, к стабилизации эмульсий и пен. Казеин стабилизирует эмульсии, повышает термостабильность пищевых продуктов [20], что обусловлено отсутствием вторичных и третичных структур [21]. Несмотря на отличие белков по свойствам, при

взаимодействии с полисахаридами они способствуют формированию необходимых реологических и органолептических характеристик молочных продуктов. Влияние на реологические и текстурные свойства продукта полисахаридов и белков происходит вследствие их взаимодействия в незамороженной плазме мороженого [22].

Комплексные стабилизационные системы для мороженого, представленные на рынке сырья, предназначены для разновидностей мороженого с содержанием СОМО 10–11% (при содержании сухих веществ молока не менее 40%). В последнее время возрастает интерес к производству мороженого со сниженным содержанием сухих веществ молока. Новая разновидность мороженого (молокосодержащее) характеризуется массовой долей жира 1–6% и СОМО 3–6%¹ при содержании сухих веществ молока не менее 20%. Ввиду малого количества жира и белка в составе СОМО в этой разновидности мороженого необходимо совершенствование его химического состава для достижения приемлемых технологически и органолептически значимых показателей качества. В частности, эта цель может достигаться путем совершенствования состава стабилизационных систем на базе доступных гидроколлоидов и посредством дополнительного введения белка с концентратами белков, являющихся продуктами переработки побочной продукции молочного производства (обезжиренного молока и сыворотки). При этом особый интерес представляет применение микропартикулята сывороточных белков, обладающего функциональными свойствами белков и способностью усиливать сенсорное ощущение содержания жира, вызываемое модификацией молекул с получением частиц, близких по размеру к жировой фазе мороженого [23].

Целью данной работы являлась разработка композиций гидроколлоидов с использованием ксантановой камеди и апробирование ее в производстве молокосодержащего мороженого с микропартикулятом сывороточного белка.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты исследования

В качестве изучаемых гидроколлоидов были выбраны камеди: тары (CEROTA, Roepig, Германия), ксантановая (E415, Китай), конжаковая (E425, Китай), гуаровая (E412, RICOL-RG-255, Индия), каппа- и йота каррагинаны (E407, Китай). В качестве эмульгатора в составе стабилизационных систем использовались эфиры полиглицерина и жирных кислот BADE GMS90 (E471, Турция).

Для производства молокосодержащего мороженого применяли следующее сырье: сливочное масло с массовой долей жира 82,5% (Россия), сухое обезжиренное молоко (ООО «Юговский комбинат молочных продуктов», Россия), сахар (ТМ «Русский сахар», Россия), мальтодекстрин (Россия), концентрат сывороточных белков — микропартикулят КСБ-УФ-55 (АО «Молочный комбинат „Ставропольский“», Россия), Cremodan 334 VEG (Danisco, Дания).

Молокосодержащее мороженое характеризовалось следующим химическим составом: массовая доля молочного жира — 4%, СОМО — 3%, содержание сахарозы — 15,5%, МПСБ — 4,2%, мальтодекстрина — 2,3%. Стабилизационную систему вносили из расчета 7 г/кг. В качестве контрольного образца использовали молокосодержащее мороженое с МПСБ, в качестве контроля стабилизационной системы — ее широко применяемую разновидность с торговой маркой Cremodan 334, включающую моноглицериды и диглицериды жирных кислот, гуаровую камедь, карбоксиметилцеллюлозу и каррагинан.

2.2. Технологический процесс

Процесс приготовления мороженого состоял из традиционных стадий технологического процесса: смешивание сухих компонентов между собой и их внесение в воду, нагревание смеси компонентов до 65 °С и добавление сливочного масла, пастеризацию, гомогенизацию, охлаждение, созревание и фризирование смеси, фасование и закаливание мороженого. Смесь эмульгатора со стабилизаторами предварительно смешивали с сахаром.

¹ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2011 «О безопасности молока и молочной продукции» (с изменениями на 23 сентября 2022 года). Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 октября 2013 года № 67.

2.3. Методы исследований

Динамическую вязкость смеси определяли на вискозиметре DV-II+ PRO с ПО Rheocalc V3 1–1 (Brookfield, США). Смесь и растворы гидроколлоидов предварительно охлаждали до температуры $(4,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ и проводили измерения.

Методика определения взбитости описана в ГОСТ 31457–2012². Использовали фризёр периодического действия LABO 8/12 XPL P (CARPIGANI, Италия) с автоматическим управлением.

Показатели термоустойчивости рассчитывали по методике ВНИИХИ [24].

Твёрдость, адгезивную силу и клейкость определяли на текстуromетре LFRA Texture Analyzer с ПО TexturePro Lite v1.1 (Brookfield, США). Для измерения использовали цилиндрический зонд TA 28 диаметром 2 мм. Скорость погружения зонда составляла 0,5 мм/с, глубина его погружения в поверхность продукта — 5 мм. Температура образца при измерении — минус 18°C .

Состояние воздушной фазы и кристаллов льда, а также их дисперсность оценивали с использованием биологического микроскопа CX-41 (Olympus, Япония) и программного обеспечения ImageScope M (Россия). Для сохранения кристаллов льда применяли системы Пельтье PE120 (Linkam, Великобритания), позволяющие проводить исследование при температуре минус 18°C .

При проведении органолептической оценки использовали ГОСТ Р ИСО 22935–2–2011³, дегустацию проводили при температуре образцов минус $(14 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Обработку данных осуществляли с применением программ Microsoft Excel, Statistica 10 и Past 4.03. Для оценки статистически значимых различий между образцами задействовали однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для попарного сравнения выборок применяли апостериорный критерий Тьюки. Статистически значимый результат оценивали при $p < 0,05$.

3. Результаты и обсуждение

На первой стадии исследований были разработаны синергетические композиции гидроколлоидов по показателю «динамическая вязкость». При формировании композиций гидроколлоидов были учтены показатели вязкости каждого гидроколлоида в отдельности с содержанием камедей 0,3 г на 100 г молочной основы, а каррагинана — 0,046 г. Вязкость молочной основы с ксантановой камедью при градиенте сдвига $0,67 \text{ c}^{-1}$ была на уровне $812 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, с каппа-каррагинаном — $225 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, с йота-каррагинаном — $72 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, с гуаровой камедью — $361 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. Из представленных данных следует, что наибольшая вязкость молочной основы достигается при использовании ксантановой камеди, наименьшая — при применении йота-каррагинана. Стоит обратить внимание, что вязкость молочной основы в зависимости от используемой фракции каррагинана отличалась в 3 раза.

Таким образом, очевидно, что для технологически необходимого повышения вязкости смесей молокосодержащего мороженого рационально в составе стабилизационных систем использовать ксантановую камедь. При этом важно учитывать, что она образует синергетические комплексы с галактоманнами (камедями гуаровой и рожкового дерева) по показателю «динамическая вязкость». Кроме того, на вязкость оказывает влияние взаимодействие полисахаридов и белков [25]. В связи с этим было важно определить критическое содержание полисахаридов, способствующее структурообразованию в молочной основе с появлением плотного сгустка. Он образуется в результате совместного использования конжаковой и ксантановой камедей, что продемонстрировано на Рисунке 1 в рамках проведения экспериментальных исследований. Аналогичный результат был отмечен при взаимодействии ксантановой и конжаковой камедей в работе Agoub с соавторами [26]. Эти и другие особенности были учтены при разработке композиций гидроколлоидов — в частности, пониженное содержание казеина в молокосодержащем мороженом, в том числе при использовании концентратов белков. Молочные белки могут быть внесены в мороженое для имитации более высокого содержания жира, а также для формирования структуры продукта [27]. В данном исследовании микропартикулят сывороточных белков (МПСБ) вносили с целью восполнения массовой доли белка при сниженном содержании СОМО, а также для формирования структуры молокосодержащего мороженого при его взаимодействии с полисахаридами. При использовании МПСБ в некоторых композициях гидроколлоидов не вносили фракции каппа-каррагинана.



Рисунок 1. Внешний вид сгустка при содержании ксантановой и конжаковой камедей в мороженом более 0,25%

Figure 1. Appearance of the clot upon the content of xanthan gum and konjac gum in ice cream of more than 0.25%

Композиции гидроколлоидов, обеспечивающие наиболее высокую вязкость модельных растворов (молочных основ), применяли при изготовлении экспериментальных партий мороженого. В Таблице 1 представлены композиции эмульгатора и стабилизаторов. Содержание композиции полисахаридов в составе стабилизационной системы составляло 30%. В каждую композицию были включены ксантановая камедь в сочетании с одним, двумя или тремя дополнительными полисахаридами.

Таблица 1. Состав композиций эмульгаторов и гидроколлоидов для молокосодержащего мороженого

Table 1. Composition of formulations of emulsifiers and hydrocolloids for milk-containing ice cream

Наименование пищевой добавки	Содержание эмульгатора и гидроколлоидов в композициях, %			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
E471 (BADE GMS90)	70,0			
ксантановая камедь	8,6	8,6	16,0	3,0
конжаковая камедь	—	—	—	24,2
гуаровая камедь	18,6	18,6	14,0	—
каррагинан (каппа)	2,8	1,4	—	—
каррагинан (йота)	—	1,4	—	2,8

При обосновании компонентного состава экспериментальных образцов мороженого учитывали технологически функциональную роль белков молока. Молочные белки вносят в мороженое для имитации более высокого содержания жира, а также для формирования структуры продукта [27]. В данном исследовании микропартикулят сывороточных белков (МПСБ) вносили с целью повышения массовой доли белка при сниженном содержании СОМО, а также для создания структуры молокосодержащего мороженого при возможном взаимодействии белков и полисахаридов.

На основе представленных выше композиций эмульгатора и стабилизаторов были выработаны смеси молокосодержащего мороженого с микропартикулятом сывороточного белка.

Было установлено, что различия в составах стабилизаторов сказались на динамической вязкости смесей для мороженого, что обуславливается различной водосвязывающей способностью гидроколлоидов. В смесях для мороженого были определены значения динамической вязкости смеси до и после созревания при градиенте сдвига $0,17 \text{ c}^{-1}$ (Рисунок 2).

Как следует из представленных выше данных, смеси молокосодержащего мороженого с композициями гидроколлоидов № 1 — № 4 характеризовались высоким уровнем вязкости. На динамическую вязкость смеси оказали влияние водосвязывающие свойства гидроколлоидов, достигнутый синергетический эффект по показателю «динамическая вязкость» и взаимодействие микропартикулята сывороточного белка с водой. Различия в свойствах гидроколлоидов и их композиций отразились и на значении динамической вязкости в образцах [28,29,30]. Наибольшим значением вязкости

² ГОСТ 31457–2012. «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия». Москва: Стандартинформ, 2014. — 27 с.

³ ГОСТ Р ИСО 22935–2–2011. «Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки». Москва: Стандартинформ, 2012. — 20 с.

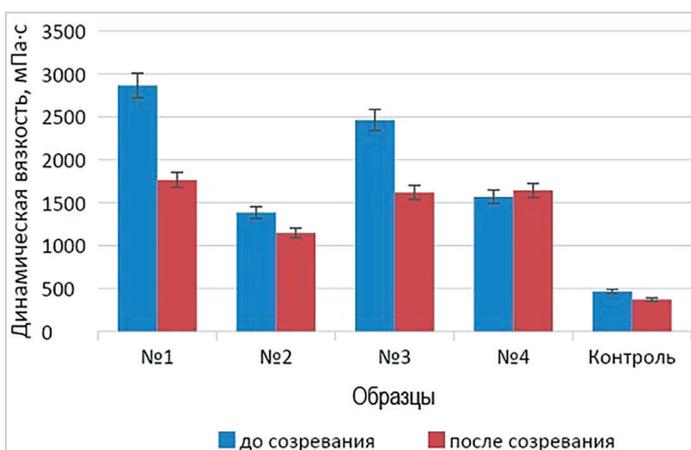


Рисунок 2. Показатели динамической вязкости смесей для молочосодержащего мороженого
Figure 2. Indicators of dynamic viscosity of mixtures for milk-containing ice cream

характеризовался образец смеси с композицией № 1, а наименьшим — образец с композицией № 2. При этом важно принимать во внимание, что образцы № 1 и № 2 отличаются только соотношением фракций каппа- и йота-каррагинанов в стабилизационной системе. Замена 50% каппа-каррагинана на йота-каррагинан привела к понижению вязкости на 35%. Вероятно, что йота-каррагинан при взаимодействии с ионами Ca^{2+} образует менее прочные гели, а каппа-каррагинан — более прочные [31]. Прочность гелей, образуемых йота-каррагинаном, возрастает в процессе созревания смесей, что можно предположить, учитывая меньшее изменение вязкости смеси в образце № 2 после проведения этого процесса. Образец № 4 характеризовался стабильной вязкостью до и после созревания смесей. Это подтверждает то, что конжаковая камедь характеризуется высокой влагоудерживающей способностью и образует гели с ксантановой камедью [32]. При использовании композиций № 1 и № 3 вязкость после созревания снизилась в 1,6 и 1,5 раза, что, возможно, обусловлено невысокой концентрацией ксантановой камеди в образце № 1 и отсутствием каппа-каррагинана в образце № 3. Стоит отметить, что все опытные образцы характеризовались более высокой вязкостью по сравнению с контрольным образцом с StemoDan 334, что важно для обеспечения качества мороженого с низким содержанием молочной составляющей.

Со всеми разработанными композициями были выработаны образцы мороженого и исследованы показатели их качества.

При изучении показателей качества определяли вязкоупругие характеристики образцов (Таблица 2).

Во всех опытных образцах мороженого с различным составом гидроколлоидов вязкоупругие характеристики отличались более низкими значениями показателей по сравнению с контролем (StemoDan 334). Данные свойства важно учитывать при решении вопросов фасовки мороженого в крупногабаритную упаковку при последующем

Таблица 2. Показатели смеси и образцов мороженого

Table 2. Indicators of the mixture and samples of ice cream

Наименование показателя	Образцы				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Контроль
Условная твердость, Н	2,49 ± 0,73 ^a	2,53 ± 0,61 ^a	2,60 ± 0,47 ^a	1,77 ± 0,29	5,72 ± 1,20
Адгезионная сила, Н	0,16 ± 0,03 ^a	0,17 ± 0,02 ^a	0,16 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01	0,26 ± 0,04
Условная клейкость, Н·с	0,60 ± 0,13 ^{ab}	0,70 ± 0,12 ^a	0,59 ± 0,17 ^{ab}	0,49 ± 0,08 ^b	0,97 ± 0,27

* Значения с одинаковой буквой в одной строке существенно не различаются ($p > 0,05$).

Таблица 3. Показатели дисперсности воздушной фазы

Table 3. Indicators of dispersity of the air phase

Показатель	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Контроль
Средний диаметр воздушных шариков, мкм	35,8 ± 3,9 ^a	30,4 ± 3,0 ^a	32,9 ± 2,9 ^a	32,1 ± 2,2 ^a	35,4 ± 2,12 ^a
Доля размером до 50 мкм, %	78	86	81	83	79
Через 4 месяца хранения					
Средний диаметр воздушных шариков, мкм	38,2 ± 2,6 ^a	36,9 ± 2,5 ^a	37,3 ± 1,6 ^a	49,4 ± 3,0	38,7 ± 0,5 ^a
Доля размером до 50 мкм, %	74	77	74	59	69

* Значения с одинаковой буквой в одной строке существенно не различаются ($p > 0,05$)

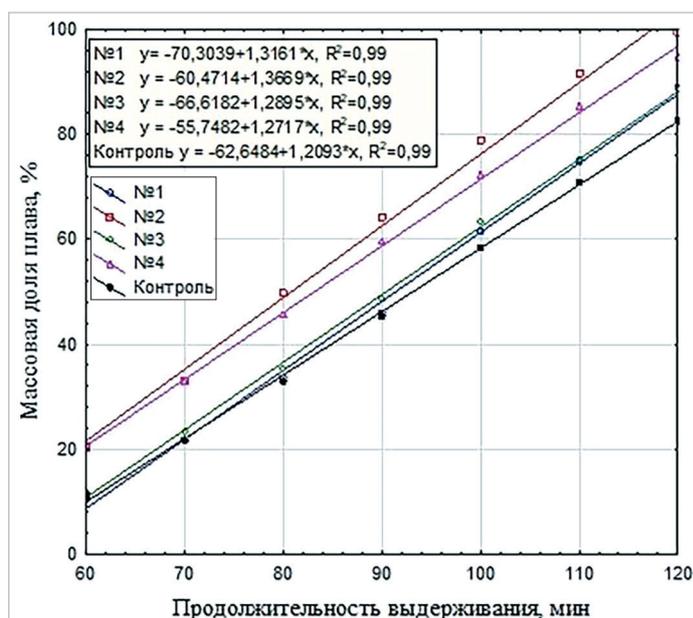


Рисунок 3. Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания
от продолжительности выдерживания

Figure 3. Dependence of the mass fraction of melt on duration of holding

дозировании в виде порций незначительной массы. Для таких целей в наибольшей степени пригоден образец № 4 с наименьшей твердостью и клейкостью, свидетельствующей о «мягкости» образца. Полученный результат коррелирует с данными об образовании мягких гелей при взаимодействии конжаковой и ксантановой камедей [33].

При исследовании термоустойчивости было установлено, что образцы молочосодержащего мороженого № 2 и № 4 по этому показателю уступают контрольному образцу. На Рисунке 3 представлен график зависимости массовой доли плава от продолжительности выдерживания образцов молочосодержащего мороженого в термостате.

Установлено, что при использовании разработанных композиций гидроколлоидов наибольшее количество плава после 60 мин термостатирования (20%) образуется в образцах № 2 и № 4. Обе эти композиции характеризуются присутствием йота-каррагинана, который образует термообратимые гели, в отличие от каппа-каррагинана [34]. Скорость таяния образцов мороженого со смесями гидроколлоидов № 1 и № 3 значительно не отличалась от этого показателя в контрольном образце.

При исследовании дисперсности воздушной фазы учитывали, что на пенообразующие свойства белков оказывают влияние как внутренние, так и внешние факторы [35], а также их взаимодействие с гидроколлоидами [36].

Во всех образцах мороженого было изучено влияние состава стабилизационных систем на дисперсность воздушных пузырьков (Таблица 3).

Таблица 4. Показатели дисперсности кристаллов льда
Table 4. Indicators of dispersity of ice crystals

Показатель	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Контроль
<i>Закаливание</i>					
Средний размер кристаллов льда, мкм	38,1 ± 0,5	35,6 ± 1,0 ^a	35,1 ± 1,4 ^a	35,9 ± 0,2 ^a	34,2 ± 1,75 ^a
Доля размером до 50 мкм, %	85	87	89	85	92
<i>Через 4 месяца хранения</i>					
Средний размер кристаллов льда, мкм	41,2 ± 2,1 ^a	41,1 ± 2,2 ^a	43,1 ± 0,9 ^b	43,1 ± 0,3 ^b	39,0 ± 2,50
Доля размером до 50 мкм, %	80	80	77	77	83

* Значения с одинаковой буквой в одной строке существенно не различаются ($p > 0,05$).

Было установлено, что после закаливания средний размер воздушных пузырьков во всех образцах мороженого различался незначительно. В образце № 2 образовалось наибольшее количество пузырьков размером до 50 мкм — 86%, что в 1,1 раза больше, чем у контроля. Наименьшее количество пузырьков размером до 50 мкм образовалось в образце № 1, который характеризовался наибольшей вязкостью. Однако стоит отметить, что для данного образца изменение дисперсности воздушной фазы было наименьшим, доля пузырьков с размером до 50 мкм через 4 месяца хранения снизилась всего на 5%. Наибольшие изменения были отмечены в образце № 4, в котором наблюдалось снижение доли воздушных пузырьков на 29%. Остальные образцы характеризовались изменениями в течение 4 месяцев: в образце № 2 доля воздушных пузырьков снизилась на 10%, в образце № 3 — на 9% и в контрольном образце — на 12%.

Стоит отметить, что при оценке стабильности воздушной фазы важно учитывать влияние количества дестабилизированной жировой фазы и ее распределение возле воздушных ячеек [37]. Однако все образцы характеризовались невысоким содержанием жира (4%), следовательно, можно предположить, что определенную роль в стабилизации воздушной фазы сыграло взаимодействие МПСБ с гидроколлоидами и непосредственное его влияние на оболочку воздушного пузырька вследствие адсорбции. Можно предположить, что при сниженном содержании ксантановой камеди образовались нестабильные пены, появление которых приводит к диспропорционированию воздушных пузырьков.

Отмечена корреляция между долей воздушных пузырьков и скоростью таяния мороженого: образцы, в которых доля воздушных пузырьков до 50 мкм была выше, таяли быстрее, что, возможно, также обусловлено невысокой массовой долей жира.

Установлено, что по показателю «дисперсность кристаллов льда» образцы молокосодержащего мороженого существенно не отличались (Таблица 4).

На рост и размер кристаллов льда оказывают влияние следующие факторы: доля вымороженной воды при фризировании, температура хранения образцов, наличие или отсутствие температурных колебаний, а также состав гидроколлоидов, поскольку они являются

криопротекторами и ингибируют рост кристаллов [38]. Все образцы хранились в одинаковых условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ при отсутствии температурных колебаний. При использовании композиций гидроколлоидов № 3 и № 4 кристаллы льда достигали наибольшего размера через 4 месяца хранения образцов. Количество кристаллов льда с размером до 50 мкм было снижено на 4% по сравнению с образцами № 1 и № 2 и на 7% относительно контроля. Стоит отметить, что в обоих образцах отсутствовал каррагинан.

В результате сенсорной оценки было установлено, что по сравнению с другими образцами образец № 1 характеризовался наиболее кремообразной консистенцией. В образцах № 2 и № 3 была отмечена плотная консистенция, а в образце № 4 — вязкая.

4. Выводы

В результате исследований теоретически и экспериментально обоснована целесообразность применения ксантановой камеди в составе стабилизационных систем, обеспечивающих высокий уровень динамической вязкости в смесях для мороженого. При использовании комплексных стабилизационных систем с ксантановой камедью в производстве молокосодержащего мороженого с микропартикулятом сывороточных белков установлено, что по сравнению с контролем со стабилизационной системой Cremodan 334 достигается более высокий уровень динамической вязкости смеси и более низкие значения вязкоупругих характеристик (твердость, адгезионная сила, клейкость), что оказывает положительное влияние на консистенцию готового продукта. Замена 50% каппа-каррагинана на йота-каррагинан в композиции гидроколлоидов приводит к заметному снижению динамической вязкости смеси и термоустойчивости мороженого, при полной замене — к снижению стабильности воздушной фазы в процессе хранения. Отсутствие каррагинана или замена каппа-каррагинана на йота-каррагинан вызывает снижение дисперсности кристаллов льда в процессе хранения мороженого. На основании исследований установлено, что наиболее эффективной композицией гидроколлоидов для производства молокосодержащего мороженого с микропартикулятом сывороточных белков является разновидность с содержанием ксантановой камеди 8,6%, гуаровой камеди и каппа-каррагинана 21,4%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Goff, H. D. (2018). The Structure and Properties of Ice Cream and Frozen Desserts. Chapter in a book: Encyclopedia of Food Chemistry. Academic Press, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21703-4>
- Regand, A., Goff, H. D. (2003). Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 95–102. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00042-5)
- Manzoor, A., Dar, A. H., Pandey, V. K., Shams, R., Khan, S., Panesar, P. S. et al. (2022). Recent insights into polysaccharide-based hydrogels and their potential applications in food sector: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 987–1006. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.044>
- Himashree, P., Sengar, A. S., Sunil, C. K. (2022). Food thickening agents: Sources, chemistry, properties and applications — A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, Article 100468. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100468>
- Cofelice, M., Messia, M. C., Marconi, E., Cuomo, F., Lopez, F. (2023). Effect of the xanthan gum on the rheological properties of alginate hydrogels. *Food Hydrocolloids*, 142, Article 108768. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108768>
- Kamińska-Dwórznińska, A., Łaba, S., Jakubczyk, E. (2022). The effects of selected stabilizers addition on physical properties and changes in crystal structure of whey ice cream. *LWT*, 154, Article 112841. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112841>
- Udo, T., Mummaleti, G., Mohan, A., Singh, R. K., Kong, F. (2023). Current and emerging applications of carrageenan in the food industry. *Food Research International*, 173(2), Article 113369. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113369>
- Xu, H., Gao, Z., Huang, M., Fan, Q., Cui, L., Xie, P. et al. (2024). Static stability of partially crystalline emulsions stabilized by milk proteins: Effects of κ-carrageenan, λ-carrageenan, ι-carrageenan, and their blends. *Food Hydrocolloids*, 147(A), Article 109387. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109387>
- Huang, J.-Y., Jones, O. G., Zhang, B. Y. (2022). Interactions of casein and carrageenan with whey during pasteurization and their effects on protein deposition. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.06.002>
- Seo, C. W., Oh, N. S. (2022). Functional application of Maillard conjugate derived from a κ-carrageenan/milk protein isolate mixture as a stabilizer in ice cream. *LWT*, 161, Article 113406. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113406>
- Liu, W., Foster, T. (2022). Phase separation of a milk protein and guar gum: The effect of guar gum molecular weight and oil addition on the phase diagram. *Food Hydrocolloids for Health*, 2, Article 100048. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100048>
- Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., Siddiqui, M. Z. (2016). Guar gum as a promising starting material for diverse applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001>
- Bhat, I. M., Wani S. M., Mir, S. A., Masoodi, F. A. (2022). Advances in xanthan gum production, modifications and its applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42, Article 102328. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>
- Brunchi, C.-E., Morariu, S., Iftime, M.-M., Stoica, I. (2023). Xanthan gum in solution and solid-like state: Effect of temperature and polymer concentration. *Journal of Molecular Liquids*, 387, Article 122600. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122600>
- Wu, G., Liu, X., Hu, Z., Wang, K., Zhao, L. (2022). Impact of xanthan gum on gluten microstructure and bread quality during the freeze-thaw storage. *LWT*, 162, Article 113450. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113450>
- BeMiller, J. N. (2019). Polysaccharides: Properties. Chapter in a book: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (Third edition). Woodhead Publishing and

- AACC International Press, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00005-4>
17. Patil, U., Patel, A. R. (2021). Polysaccharide-based functional colloids for food applications. Chapter in a book: Food, Medical, and Environmental Applications of Polysaccharides. Elsevier, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819239-9.00004-X>
 18. Chuah, A. M., Kuroiwa, T., Kobayashi, I., Nakajima, M. (2014). The influence of polysaccharide on the stability of protein stabilized oil-in-water emulsion prepared by microchannel emulsification technique. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 440, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.09.051>
 19. Wijaya, W., Patel, A. R., Setiowati, A. D., Van der Meer, P. (2017). Functional colloids from proteins and polysaccharides for food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 68, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.003>
 20. Balivo, A., d'Errico, G., Genovese, A. (2024). Sensory properties of foods functionalised with milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 147(A), Article 109301. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109301>
 21. Singh, R., Rothod, G., Meletharayil, G. N., Kapoor, R., Sankarlal, V. M., Amamcharla, J. K. (2022). Invited review: Shelf-stable dairy protein beverages — Scientific and technological aspects. *Journal of Dairy Science*, 105(12), 9327–9346. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22208>
 22. Patmore, J. V., Goff, H. D., Fernandes, S. (2003). Cryo-gelation of galactomannans in ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17(2), 161–169. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00048-6)
 23. Мельникова, Е. И., Станиславская Е. Б., Фёдорова, А. Р. (2021). Белково-полисахаридный имитатор жира для ферментированного молочного продукта. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 188–199. [Melnikova, E. I., Stanislavskaya, E. B., Fedorova, A. R. (2021). Protein-polysaccharide fat imitator for fermented dairy. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 188–199. (In Russian)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.220>
 24. Ландиховская, А. В., Творогова, А. А. (2023). Показатели качества молочного мороженого с цитрусовыми волокнами и камедями. *Пищевые системы*, 6(2), 261–268. [Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A. (2023). Quality characteristics of milk ice cream with citrus fibers and gum. *Food Systems*, 6(2), 261–268. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268>
 25. Ren, Z., Li, X., Ma, F., Zhang, Y., Hu, W., Khan, Z. H. et al. (2022). Oil-in-water emulsions prepared using high-pressure homogenisation with *Dioscorea opposita* mucilage and food-grade polysaccharides: Guar gum, xanthan gum, and pectin. *LWT*, 162, Article 113468. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113468>
 26. Agoub, A. A., Smith, A. M., Giannouli, P., Richardson R. K., Morris E. R. (2007). «Melt-in-the-mouth» gels from mixtures of xanthan and konjac glucomannan under acidic conditions: A rheological and calorimetric study of the mechanism of synergistic gelation. *Carbohydrate Polymers*, 69(4), 713–724. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.02.014>
 27. Творогова, А. А., Ландиховская, А. В., Казакова, Н. В. (2022). Структура молкосодержащего мороженого при использовании концентратов молочного и сывороточного белков. *Пищевая промышленность*, 6, 66–69. [Tvo-
 - rogova, A. A., Landikhovskaya, A. V., Kazakova, N. V. (2022). The structure of milk-containing ice cream using milk and whey protein concentrates. *Food Industry*, 6, 66–69. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.6.6.015>
 28. Nooshkam, M., Varidi, M., Zareie, Z., Alkobeisi, F. (2023). Behavior of protein-polysaccharide conjugate-stabilized food emulsions under various destabilization conditions. *Food Chemistry: X*, 18, Article 100725. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100725>
 29. Мельникова, Е. И., Станиславская, Е. Б. (2021). Получение и применение микропарткулята сывороточных белков в технологии производства сметаны. *Пищевые системы*, 4(2), 117–125. [Melnikova, E. I., Stanislavskaya, E. B. (2021). Preparation and use of the whey protein microparticulate in the sour cream production technology. *Food Systems*, 4(2), 117–125. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-117-125>
 30. Kew, B., Holmes, M., Stieger, M., Sarkar, A. (2020). Review on fat replacement using protein-based microparticulated powders or microgels: A textural perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 106, 457–468. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.032>
 31. Černíková, M., Buňka, F., Pavlínek, V., Březina, P., Hrabě, P., Valášek, P. (2008). Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 1054–1061. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.020>
 32. Zhu, J., Eid, M., Li, J., Geng, F., Li, B. (2022). Synergistic interactions between konjac glucomannan and welan gum mixtures. *LWT*, 162, Article 113425. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113425>
 33. Brenner, T., Tuvikene, R., Fang, Y., Matsukawa, S., Nishinari, K. (2015). Rheology of highly elastic iota-carrageenan/kappa-carrageenan/xanthan/konjac glucomannan gels. *Food Hydrocolloids*, 44, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.016>
 34. Bhattacharyya, T., Palla, C. S., Dethle, D. H., Joshi, Y. M. (2024). Rheological investigation of the network structure in mixed gels of Kappa and Iota Carrageenan. *Food Hydrocolloids*, 146(B), Article 109298. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109298>
 35. Иванова, С. А. (2018). Пенообразующие свойства концентратов белков обезжиренного молока. *Техника и технология пищевых производств*, 49(4), 12–21. [Ivanova, S. A. (2018). The foaming properties of skim milk protein concentrate. *Food Processing Techniques and Technology*, 49(4), 12–21. (In Russian)] <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-12-21>
 36. Martinez-Padilla, L. P., Garsia-Rivera, J. L., Romero-Arreola, V., Casas-Alencaster, N. B. (2015). Effects of xanthan gum rheology on the foaming properties of whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 156, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.018>
 37. Liu, X., Sala, G., Scholten, E. (2022). Effect of fat aggregate size and percentage on the melting properties of ice cream. *Food Research International*, 160, Article 111709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111709>
 38. Tsevdou, M., Cogou, E., Dermesonluoglu, E., Taoukis, P. (2015). Modelling the effect of storage temperature on the viscoelastic properties and quality of ice cream. *Journal of Food Engineering*, 148, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.002>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Ландиховская Анна Валентиновна — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костяков, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: anna.landih@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309 * автор для контактов</p> <p>Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, доцент, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: antvorogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162</p> <p>Кочнева Светлана Евгеньевна — инженер, лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: skochneva01@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6599-1744</p>	<p>Anna V. Landikhovskaya, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyikova str, Moscow, 127422, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: anna.landih@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309 * corresponding author</p> <p>Antonina A. Tvorogova, Doctor of Technical Sciences, Docent, Deputy Director, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyikova str, Moscow, 127422, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: antvorogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162</p> <p>Svetlana E. Kochneva, Engineer, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyikova str, Moscow, 127422, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: skochneva01@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6599-1744</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Ландиховская А. В. — обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований.</p> <p>Творогова А. А. — научное руководство исследованиями, анализ и обобщение результатов исследований.</p> <p>Кочнева С. Е. — проведение экспериментальных исследований.</p>	<p>Landikhovskaya A.V. — Literature review, conducting and processing the results of experimental studies.</p> <p>Tvorogova A. A. — scientific advisor of research, analysis and synthesis of research results.</p> <p>Kochneva S. E. — conducting experimental studies.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.