

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-1-23-35>

УДК 637.146:[633.12+663.91]



## Влияние вводимого цитрата магния на реологические характеристики витаминизированного кисломолочного продукта с гречей и какао

А.М. Ермолина<sup>1</sup>, А.Л. Новокшанова✉<sup>2</sup>, А.А. Абабкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; г. Вологда, Российская Федерация

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»; г. Москва, Российская Федерация, ✉novokshanova@ion.ru

**Аннотация. Введение.** Сердечно-сосудистые заболевания представляют собой значимую проблему здравоохранения. Разработка специализированных пищевых продуктов является перспективным направлением в профилактике данных заболеваний. **Цель исследования.** Целью настоящего исследования являлось изучение влияния различных концентраций цитрата магния на реологические характеристики специализированного кисломолочного продукта с добавлением гречневой муки и какао, а также оценка их влияния на структурно-механические свойства продукта. **Объекты и методы исследования.** Проведены исследования образцов с содержанием магния на уровне 20%, 60% и 100% от рекомендуемой нормы потребления. Методами реологического анализа определены динамическая вязкость, синерезис, структурная прочность и тиксотропные свойства продукта. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что добавление цитрата магния в количестве 20% от рекомендуемой нормы потребления обеспечивает оптимальные реологические характеристики продукта. При увеличении концентрации магния до 60–100% наблюдается значительное повышение вязкости и усиление синерезиса. Показано, что цитрат магния в исследованных концентрациях не влияет на органолептические показатели продукта. Выявлено, что активная кислотность опытных образцов не зависит от добавления цитрата магния. Во всех вариантах значения рН остаются сопоставимыми с контрольными образцами и неизменными после семи суток холодильного хранения. **Заключение.** Определен оптимальный уровень внесения цитрата магния (20 % от АУП), обеспечивающий стабильные реологические характеристики продукта при сохранении его потребительских свойств. Результаты исследования имеют практическое значение для разработки специализированного пищевого продукта для лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

**Ключевые слова:** специализированный пищевой продукт, сердечно-сосудистые заболевания, реологические характеристики, обезжиренное молоко, пахта, гречневая мука, какао, цитрат магния, динамическая вязкость, синерезис

**Для цитирования:** Ермолина А.М., Новокшанова А.Л., Абабкова А.А. Влияние вводимого цитрата магния на реологические характеристики витаминизированного кисломолочного продукта с гречей и какао. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(1):23-35. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-1-23-35>

**Финансирование.** Материал подготовлен в рамках Государственного задания FGMP-2025-0014

## The effect of introduced magnesium citrate on the rheological characteristics of a fortified fermented milk product with buckwheat and cocoa

A.M. Ermolina<sup>1</sup>, A.L. Novokshanova✉<sup>2</sup>, A.A. Ababkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin;  
Vologda, the Russian Federation*

<sup>2</sup>*Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology, and Food Safety;  
Moscow, the Russian Federation,  
✉novokshanova@ion.ru*

**Abstract. Introduction.** Cardiovascular diseases are a significant public health problem. The development of specialized food products is a promising area for the prevention of these diseases. **The goal of the research** was to investigate the effect of various concentrations of magnesium citrate on the rheological characteristics of a specialized fermented milk product with buckwheat flour and cocoa, as well as to evaluate their influence on the structural and mechanical properties of the product. **The objects and methods of the research.** Samples with a magnesium content of 20%, 60% and 100% of the recommended intake were studied. Rheological analysis methods were used to determine the dynamic viscosity, syneresis, structural strength and thixotropic properties of the product. **The results and discussion.** It has been found that the addition of magnesium citrate in an amount of 20% of the recommended intake provides optimal rheological properties of the product. With an increase in the magnesium concentration to 60–100%, a significant increase in viscosity and an increase in syneresis are observed. It is shown that magnesium citrate in the studied concentrations does not affect the organoleptic properties of the product. It has been found that the active acidity of the test samples does not depend on the addition of magnesium citrate. In all variants, pH values remained comparable to the control samples and unchanged after seven days of refrigerated storage. **Conclusion.** The optimal magnesium citrate addition level (20% of the recommended daily intake) has been determined, ensuring stable rheological characteristics of the product while maintaining its consumer properties. The research results have practical implications for the development of a specialized food product for individuals with cardiovascular diseases.

**Keywords:** specialized food product, cardiovascular diseases, rheological properties, skim milk, buttermilk, buckwheat flour, cocoa, magnesium citrate, dynamic viscosity, syneresis

**For citation:** Ermolina A.M., Novokshanova A.L., Ababkova A.A. The effect of introduced magnesium citrate on the rheological characteristics of a fortified fermented milk product with buckwheat and cocoa. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(1):23-35. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-1-23-35>

**Funding.** The material was prepared within the State Assignment FGMF-2025-0014

**Введение.** Существует множество причин, способных привести к развитию алиментарно-зависимых заболеваний. К ним относятся не только избыточные или дефицитные диеты, но и длительное соблюдение однообразных рационов, не обеспечивающих сбалансированное поступление необходимых макро- и микронутриентов. Заболевания сердечно-сосудистой системы являются основной причиной смертности во всем мире. В 2019 году от них умерло 17,9 миллионов человек, что составляет 32 % от всех случаев смерти. В России, по данным Росстата, ежегодно 38 % от всех случаев

смерти приходится на сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). Несмотря на то, что через 25 лет прогнозируется почти двукратный рост этих заболеваний в мире, большие надежды возлагаются на превентивные мероприятия, поскольку хорошо известно об их эффективности в предупреждении развития ССЗ [1, с. 73, 2, с. 61].

Комплексный подход, включающий контроль поведенческих аспектов и диагностических показателей, доказывает, что ССЗ и гипертензия в значительной степени поддаются профилактике. Одним из наиболее эффективных мер профилактики и лече-

ния ССЗ общепризнано питание пациентов [3, с. 12]. При этом в формировании рациона пациентов с ССЗ большое значение имеют специализированные пищевые продукты. Их особенность заключается в установлении требований к составу и включении функциональных пищевых ингредиентов.

С целью создания специализированного пищевого продукта для профилактики и лечения пациентов с ССЗ на основе анализа научной литературы и патентных материалов разработано медико-биологическое обоснование состава продукта. В результате признано целесообразным за основу принять низкожирное молочное сырье, поскольку в ряде исследований показано улучшение метаболического статуса пациентов после употребления нежирных молочных продуктов. Например, в исследовании Conway V. et al. [4, с. 1259-1260], молочные продукты с пониженной жирностью способствовали снижению уровня общего холестерина в крови, уменьшению концентрации липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и снижению уровня триглицеридов в крови. При этом было показано, что эффект от употребления низкожирного молочного сырья может быть сопоставим с действием растительных стеролов, традиционно используемых для коррекции липидного профиля.

Согласно медико-биологическому обоснованию в качестве функциональных пищевых ингредиентов необходимо использовать комплекс витаминов: D<sub>3</sub> [5, с. 7], B<sub>5</sub> [6, с. 2], B<sub>6</sub> [7, с. 10], B<sub>9</sub> [8, с. 802], B<sub>12</sub> [9, с. 183], K [10, с. 171] и магний [11, с. 11]. Из перечня солей, допустимых к использованию в специализированной пищевой продукции, выбран цитрат магния, поскольку он известен способностью стабилизировать системы на основе молока [12, с. 2].

Также принято решение об использовании пробиотических микроорганизмов, способствующих улучшению состава кишечной микробиоты. Положительное влияние пробиотиков проявляется через увеличение количества полезных бактерий, сни-

жение числа патогенных микроорганизмов, улучшение барьерной функции кишечника, нормализацию выработки короткоцепочечных жирных кислот [13, с. 7; 14, с. 6-7].

В качестве дополнительного ингредиента, который может быть полезен при нормализации рационов пациентов с ССЗ, использована мука гречи. Она способствует снижению уровня триглицеридов в сыворотке крови и печени, уменьшению общего холестерина, понижению уровня сахара и артериального давления в крови, усилению антиоксидантной активности сыворотки крови [15, с. 54].

С точки зрения производственных процессов, следует учитывать влияние вводимых ингредиентов на технологические показатели пищевой системы. Из литературных данных [16, с. 7] известно, что добавление гречневой муки в молочное сырье повлияло на структуру кисломолочного продукта. При добавлении гречневой муки наблюдалось значительное увеличение вязкости продукта, что авторы объяснили улучшением структуры казеинового геля, увеличением влагоудерживающей способности и подавлением отделения сыворотки. Кроме того, в этом же исследовании на фоне усиления активности микроорганизмов закваски происходило повышение кислотности продукта в результате накопления органических кислот и образования метаболитов. Таким образом, гречневая мука в составе молочного продукта оказывала положительное влияние на рост молочнокислых бактерий и улучшение выживаемости пробиотических культур.

В качестве вкусо-ароматических наполнителей в составе разрабатываемого продукта использовали какао и сахарозу.

Цель данного этапа работы включала исследование реологических характеристик продукта в зависимости от количества в них цитрата магния.

Задачи работы включали:

– подготовку и сквашивание молочных смесей с функциональными пищевыми ингредиентами;

– оценку потребительских свойств образцов после сквашивания и после хранения;

– исследование реологических показателей образцов после сквашивания и после хранения.

Изучение реологических свойств продукта обусловлено необходимостью определения оптимального баланса между функциональной эффективностью магния и технологическими характеристиками системы. Важным аспектом стало прогнозирование поведения продукта при различных концентрациях цитрата магния, поскольку влияние данного биологически активного ингредиента могло существенно отразиться на стабильности структуры готового продукта, в том числе в процессе его хранения. Это имеет принципиальное значение для успешного внедрения разработки в промышленное производство, где продукт подвергается разнообразным производственным операциям: от перемешивания и перекачивания до формирования однородной консистенции. Стабильность структуры выступает одним из ключевых факторов, определяющих качество конечного продукта и возможность его масштабирования в производственных условиях.

#### **Объекты и методы исследования.**

Обезжиренное молоко и пахту получали на АО «Учебно-опытный молочный завод» Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина». В работе также использовали:

– муку из зеленой гречи по нормативной документации производителя (ООО «Агрокомбинат Тамбовкрахмал»);

– какао-порошок алкализированный по нормативной документации производителя (INDCRE S.A., Испания);

– сахар белый по ГОСТ 32222-2015.

Для заквашивания использовали комбинацию чистых культур: термофильный стрептококк (St-Body-1, Chr. Hansen) и бифидобактерии «Бифилайф Форте» (*Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*, *Bifidobacterium longum*

ssp. *longum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium infantis*, *Bifidobacterium adolescentis*, ООО «Бифилайф»).

В качестве функциональных пищевых ингредиентов в составе модельных смесей использовали комплекс витаминов и соль магния. Премикс в виде сухого порошка содержал витамины D<sub>3</sub> (холекальциферол), B<sub>5</sub> (ниацин), B<sub>6</sub> (пиридоксин), B<sub>9</sub> (фолиевая кислота), B<sub>12</sub> (цианкобаламин), K (филлохинон). Премикс вносили в таком количестве, чтобы в порции продукта массой 200 г содержание всех витаминов, за исключением витамина K, составляло 200 % от суточного адекватного уровня потребления (АУП). Количество витамина K в такой же порции составляло 50 % от АУП, что отвечало рекомендованному соотношению с холекальциферолом.

В качестве источника магния использована соль лимонной кислоты – двухосновный цитрат магния (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>7</sub>Mg). Ранее было установлено, что эта соль магния не оказывала отрицательного влияния на вкусовые качества молочного сырья. Рекомендуемый уровень суточного потребления магния составляет 400 мг [17, с. 24]. В специализированных пищевых продуктах для взрослых также установлен и верхний допустимый уровень потребления магния – 800 мг в сутки [18, с. 389]. В работе исследованы три опытных варианта модельных смесей с разным содержанием магния, составляющим 20, 60 и 100 % АУП.

Образцы готовили согласно рецептуре из обезжиренного молока и пахты при их соотношении 1:1. Далее в молочное сырье добавляли сухие ингредиенты: муку зеленой гречи, какао и сахар. При этом доля немолочных компонентов составляла 10 %. Сухие ингредиенты вносили постепенно при постоянном перемешивании для предотвращения образования комков. В подготовленную смесь при температуре (50±2) °C вносили, непрерывно помешивая, витаминный премикс и соль магния. Температура (50±2) °C обеспечивала оптимальное растворение сухих компонентов

без денатурации белков. Далее образцы пастеризовали с выдержкой 10 с при  $(92 \pm 2)$  °С для уничтожения посторонней микрофлоры и охлаждали до температуры заквашивания  $(37 \pm 2)$  °С. Скваживание продолжали при этой температуре в течение 12 часов. В процессе сквашивания происходило формирование сгустка и накопление молочной кислоты.

Контролем служили образцы без витаминного премикса и соли магния.

Органолептическим методом (ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011) оценивали вкус, консистенцию и внешний вид образцов путем балльной оценки [19, с. 2-6]. Для определения содержания витаминов и магния в готовом продукте использовали расчетный метод. Активную кислотность определяли потенциометрическим методом [20, с. 2-7]. Измерения проводили с использованием рН-метра с погрешностью не более 0,01 рН.

Реологические характеристики молочных сгустков анализировали на ротационном вискозиметре «Реотест-2.1» с использованием измерительного устройства  $S_1$ .

Динамическую вязкость вычисляли по формуле (1):

$$\eta_{эф} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1)$$

где  $\eta_{эф}$  — динамическая вязкость (Па·с);

$\tau$  — напряжение сдвига (Па);

$\gamma$  — градиент скорости сдвига ( $c^{-1}$ ).

Устойчивость структуры к разрушению и тиксотропному восстановлению после механической нагрузки определяли путем воздействия однородного поля сдвига при постоянной скорости сдвига в течение 2 мин. После этого сгусток оставляли в покое на 15 минут для восстановления структуры и снова производили измерения.

Потерю вязкости вычисляли по формуле (2):

$$P_{\eta} = \frac{\eta_n - \eta_p}{\eta} \cdot 100 \quad (2)$$

где  $P_{\eta}$  — потеря вязкости, мПа·с;

$\eta_n$  — динамическая вязкость до разрушения структуры, мПа·с;

$\eta_p$  — динамическая вязкость после разрушения структуры, мПа·с.

Восстановление структуры рассчитывали по формуле (3):

$$B_{\eta} = \frac{\eta_v}{\eta_n} \cdot 100 \quad (3)$$

где  $\eta_n$  — начальная вязкость, мПа·с (первое измерение);

$\eta_p$  — вязкость максимально разрушенной структуры (через 120 с измерений);

$\eta_v$  — вязкость восстановленной структуры (через 15 мин восстановления).

Устойчивость систем к синерезису определяли путем центрифугирования сгустков в течение 10 минут с частотой оборотов 1000 оборотов в минуту при 20 °С. Методика центрифугирования включала следующие этапы: отбор аликвоты продукта объемом 10 см<sup>3</sup>, помещение образца в центрифужную пробирку вместимостью 15 см<sup>3</sup> и проведение центрифугирования. Далее рассчитывали долю дисперсионной среды, отделившейся после центрифугирования от начального объема сгустка.

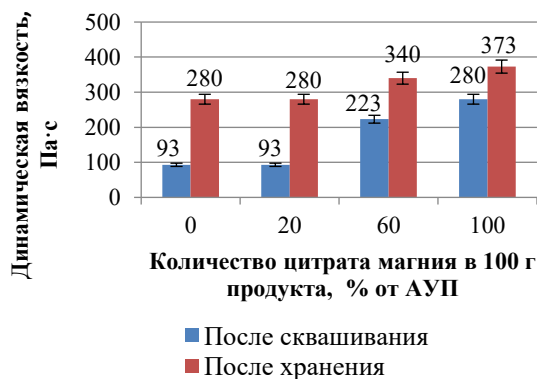
Контрольные и опытные образцы исследовали сразу после сквашивания и через семь суток холодильного хранения при  $(4 \pm 2)$  °С.

Эксперимент выполнен в трехкратной повторности. Для вычисления среднего значения (М) и стандартного отклонения ( $\sigma$ ) использовали пакет статистических программ Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Учитывая массовую долю магния, составляющую 11,3% в  $C_6H_6O_7Mg$ , навеска, обеспечивающая 20% магния от АУП в 100 г продукта, составляла 0,706 г. Для обеспечения 60% и 100% магния от АУП в 100 г продукта навеска цитрата магния равнялась, соответственно, 2,118 и 3,53 г.

Сразу после сквашивания и хранения все образцы имели кисломолочный вкус и запах с выраженным привкусом какао и не интенсивным привкусом гречи, а также цвет какао с молоком. Консистенция образцов была вязкой, но в образце с максимальным содержанием  $C_6H_6O_7Mg$  более плотной, чем в остальных. При визуальном осмотре выявлено отделение дисперсион-

ной среды в количестве 15-20 % от объема всех систем, и после сквашивания, и после хранения. После перемешивания консистенция образцов становилась однородной. Результаты измерения динамической вязкости представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Динамическая вязкость образцов (вертикальные планки – допустимые отклонения измерений с учетом статистической погрешности в 5 %)

**Fig. 1.** Dynamic viscosity of samples (vertical bars represent permissible measurement deviations, taking into account a statistical error of 5%)

Из полученных данных следует, что при минимальной концентрации соли в образцах, составляющей 20 % от АУП, динамическая вязкость систем была такой же, как и в контроле. Сгустки, содержащие цитрат магния в количестве 60 % и 100 % от АУП, были значительно гуще. Их динамическая вязкость сразу после сквашивания от двух до трех раз больше, чем в контрольных образцах (рис. 1).

В условиях эксперимента динамическая вязкость систем возрастала в процессе хра-

нения. На рисунке 1 показано, что после хранения вязкость всех проб увеличилась. При этом в образцах с минимальной концентрацией соли, составляющей 20% от АУП, увеличение вязкости достоверно не отличалось от образцов контрольного варианта. В образцах, содержащих цитрат магния в количестве 100% от АУП, вязкость была больше, чем в контроле, и больше, чем при содержании цитрата магния 60% от АУП.

Активная кислотность опытных образцов не зависела от добавления цитрата магния. Во всех вариантах значения реакции среды были сопоставимыми с контрольными образцами и оставались неизменными после семи суток холодильного хранения (табл. 1).

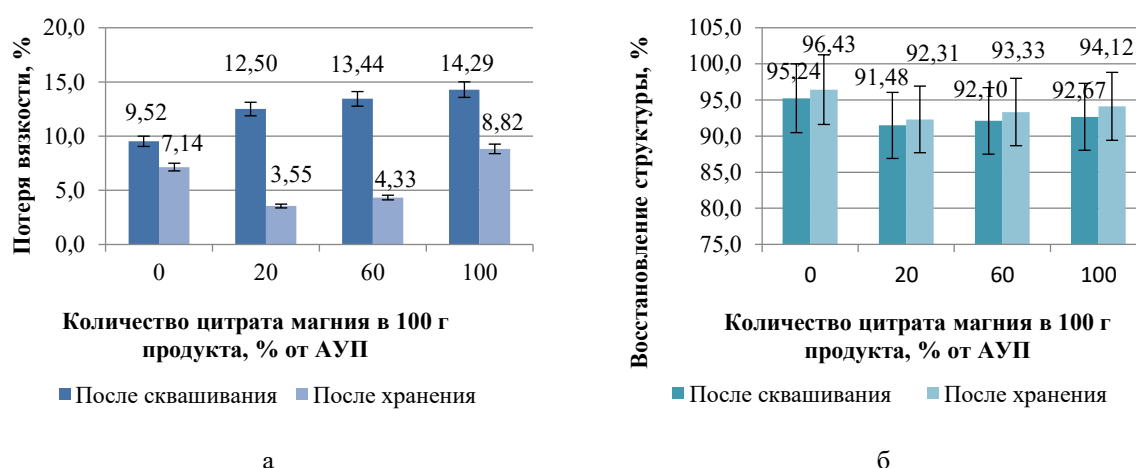
Отделение дисперсионной среды после центрифугирования было значительным и в свежеработанных образцах, и после хранения в холодильнике, но уровни синерезиса в опытных образцах были выше, чем в контрольных (табл. 1). Также прослеживалась положительная тенденция увеличения отделения дисперсионной среды в зависимости от концентрации соли в системе.

Показатели структурной прочности образцов представлены на рисунке 2. Из этих данных очевидно, что в свежих образцах меньшая потеря вязкости была характерна для контрольного варианта. В условиях эксперимента разрушение структуры сгустков, оцениваемое как потеря вязкости (рис. 2а), сразу после сквашивания положительно коррелировало с количеством цитрата магния в системе.

**Таблица 1.** Активная кислотность и уровень синерезиса образцов в зависимости от содержания в них цитрата магния

**Table 1.** Active acidity and syneresis level of samples, depending on their magnesium citrate content

Количество магния в образцах, % от АУП	Активная кислотность, единицы рН		Доля дисперсионной среды, отделившейся после центрифугирования, % от начального объема сгустка	
	После сквашивания	После хранения	После сквашивания	После хранения
0 (контроль)	4,41±0,04	4,39±0,04	44,47±0,36	54,47±0,36
20	4,43±0,03	4,41±0,03	48,90±0,35	56,73±0,46
60	4,45±0,04	4,42±0,03	51,13±0,32	56,77±0,43
100	4,45±0,04	4,43±0,04	55,60±0,28	57,80±0,35



**Рис. 2.** Физико-механические показатели образцов: а – потеря вязкости; б – восстановление структуры (вертикальные планки – допустимые отклонения измерений с учетом статистической погрешности в 5 %)

**Fig. 2.** Physical and mechanical properties of the samples: a – loss of viscosity; b – restoration of structure (vertical bars – permissible measurement deviations taking into account a statistical error of 5%)

После хранения потери вязкости во всех вариантах снизились по сравнению с исходными показателями. Такой результат можно рассматривать как следствие физико-химических процессов, протекающих на поверхностях гидроколлоидов молочного сырья, гречи и какао в ходе продолжающегося молочнокислого процесса. При этом потери вязкости в образцах, содержащих цитрат магния в количестве 20 % от АУП, были минимальными. Следовательно, такое количество цитрата магния для исследованного соотношения ингредиентов можно признать оптимальным.

Наблюдаемые отличия между контрольными и опытными вариантами в восстановлении структуры после механического разрушения нельзя признать достоверными, поскольку относительные ошибки выходили за пределы 95 % доверительного интервала (рис. 2б).

**Обсуждение.** После введения многих функциональных пищевых ингредиентов в основное сырье, особенно молочное, часто наблюдают изменение органолептических характеристик и ряда физико-химических показателей. В данной работе цитрат магния не оказал влияния на вкусовые свойства образцов, но вызвал изменение вязкости и

прочностных характеристик кисломолочных сгустков. Несомненно, это является результатом изменения солевого баланса в молочном сырье.

В свежем молоке нативные соли, такие как хлориды, фосфаты, цитраты и бикарбонаты натрия, калия, кальция и магния, создают ионную силу в среднем 0,1-0,2 моль/л [21, с. 4441; 22, с. 707-708; 23, с. 942]. Одновалентные ионы типа  $Na^+$ ,  $K^+$ , и  $Cl^-$  практически полностью присутствуют в свободной ионизированной форме. Мультивалентные катионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  существуют преимущественно в виде комплексов, в которые входят значительное количество цитратов кальция и магния и меньшее количество  $Ca(H_2PO_4)_2$  [24, с. 4-6]. По размерам комплексы молочных солей соответствуют диапазону от ультрафильтруемых форм, которые представлены свободными ионами и ионными комплексами, до коллоидов, которые участвуют в формировании структуры казеиновых мицелл [25, с. 8]. Коллоидные формы молочных солей связываются с молочными белками как в виде отдельных ионов, так и в виде комплексных структур казеиновых мицелл. Эти взаимодействия влияют на стабильность и функциональ-

ные свойства молочных белков, так что соли молока очень важны для общих свойств молочных продуктов.

В литературе наиболее подробно описаны изменения солевого баланса молока, вызванные добавлением кальция [26, с.678-681]. Например, после добавления 10 мМ хлорида кальция к молоку около 80 % этого иона связывалось с мицеллами казеина. Параллельно наблюдалось перемещение неорганических фосфат- и цитрат-ионов из диффузионной фракции в мицеллярную структуру. В результате мицеллы казеина сильно модифицировались: например, их дзета-потенциал и гидратация снизились, что, как следствие, привело к снижению их термической стабильности [27, с. 53-55]. В то же время из литературных данных известно, что добавление фосфатов и цитратов изменяет солевой баланс в жидких молочных продуктах путем образования комплексов с ионами кальция и магния из казеина. Этот механизм еще до конца не ясен, но в зависимости от типа и концентрации вносимой соли система молочных белков может стабилизироваться, дестабилизироваться или образовывать гель [12, с. 2-3, 10-11, 14-15].

Содержание цитратов в цельном молоке колеблется в диапазоне от 0,171 до 0,198 г/100 мл, а солей магния – от 0,011 до 0,014 г/100 мл [23, с. 942-951]. В свежем молоке преобладают ультрафильтруемые формы, а доля коллоидных форм всех цитратов и солей магния составляет соответственно 6 и 36% [21, с. 4442-4445].

В условиях эксперимента масса добавленного цитрата магния была до нескольких раз больше естественного содержания этих солей в молоке и колебалась в диапазоне от 0,706 до 3,53 г/100 мл. При такой концентрации соли теоретически расчетное увеличение ионной силы молочного сырья при минимальной и максимальной концентрации цитрата магния в эксперименте будет возрастать на 0,043 и 0,214 ммоль/л соответственно.

По полученным данным можно предположить, что в результате возросшей ионной силы раствора произошло изменение соотношения между водной и коллоидной фазами солей молочного сырья в пользу мицеллярной составляющей. На это одновременно указывают несколько данных. Во-первых, увеличение динамической вязкости образцов, содержащих цитрат магния в количестве 60 и 100% от АУП, в сравнении с образцами, где количество добавленной соли было меньше (рис. 1). Как известно, на вязкость молочного сырья значительно влияет объемная доля казеина, которая зависит от степени его гидратации и ионного окружения. Хотя в условиях эксперимента молекулярный механизм этого эффекта не выяснен, можно предположить, что коллоидный цитрат магния усиливал межмолекулярные взаимодействия казеиновых мицелл и способствовал увеличению вязкости. Во-вторых, увеличение доли отделившейся сыворотки в опытных сквашенных образцах в сравнении с контрольными (табл. 1) свидетельствует о том, что дисперсионная среда слабо удерживалась белками, возможно, именно потому, что большая часть добавленного цитрата магния была связана с белками. В-третьих, достоверное увеличение потерь вязкости в свежих и хранившихся опытных образцах после снятия механической нагрузки доказывает, что исследованные концентрации цитрата магния привели к модификации казеиновых мицелл в сравнении с контрольным вариантом (рис. 2б).

**Заключение.** Использованием органолептического метода, исследованием физико-химических и физико-механических показателей выявлено влияние добавленного цитрата магния на реологические характеристики молочно-растительных систем в зависимости от количества добавленного цитрата магния. По совокупности полученных данных меньшие изменения реакции среды, динамической вязкости, величины синерезиса и потери вязкости в

образцах кисломолочного продукта с гречей и какао наблюдали при добавлении цитрата магния в количестве 20 % от АУП.

Умеренное повышение динамической вязкости, минимальное отделение сыворотки и низкие показатели потери вязкости при 20 % от АУП обеспечивают однородную консистенцию продукта, стабильность при хранении и удобство потребления продукта. Такие факторы, как чрезмерное увеличение вязкости, повышенный синерезис и высокие показатели потери вязкости при 60-100 % от АУП, негативно влияют на технологичность производства и потребительские характеристики продукта. Продукт становится чрезмерно густым, что может потребовать переоснаще-

ния технологической линии. В частности, возникают серьезные сложности на различных этапах производства, таких как перемешивание, перекачивание, фасовка и дозирование продукта. Структура продукта при высоких концентрациях цитрата магния становится нестабильной, что приводит к потере однородности и риску расслоения. Отделение сыворотки при повышенном синерезисе значительно ухудшает товарный вид продукта, делая его менее привлекательным для потребителя.

Результаты исследования представляют практический интерес при разработке обогащенных и специализированных пищевых продуктов.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганов Р.Г., Шальнова С.А., Масленникова Г.Я. Эпидемиология и профилактика сердечно-сосудистых заболеваний [Электронный ресурс] // Кардиология: Новости. Мнения. Обучение. 2025. № 1 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/epidemiologiya-i-profilaktika-serdechno-sosudistyh-zabolevaniy> (дата обращения: 11.12.2025).
2. Якшина А.Д. Сердечно-сосудистые заболевания в России: обзор статистики [Электронный ресурс] // Наука через призму времени. 2024. № 1 (82). URL: <https://naupri.ru/default/Naupri01-82-24.pdf> (дата обращения: 11.12.2025).
3. Роль питания в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний [Электронный ресурс] / Барбараш О.Л [и др.]. 2019. № 10 (165). С. 11-15. DOI: 10.31550/1727-2378-2019-165-10-11-15. URL: [https://journaldoctor.ru/upload/iblock/aef/2\\_The\\_Role\\_of\\_Diet\\_in\\_the\\_Prevention\\_of\\_Cardiovascular\\_Disease.pdf](https://journaldoctor.ru/upload/iblock/aef/2_The_Role_of_Diet_in_the_Prevention_of_Cardiovascular_Disease.pdf) (дата обращения: 11.12.2025).
4. Impact of buttermilk consumption on plasma lipids and surrogate markers of cholesterol homeostasis in men and women / Conway V. [et al.] // *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2013. Vol. 23, No. 12. P. 1255-62. doi: 10.1016/j.numecd.2013.03.003. Epub 2013 Jun 17. PMID: 23786821.
5. Combined 25-hydroxyvitamin D concentrations and physical activity on mortality in US stroke survivors: findings from the NHANES [Electronic resource] / Liao J. [et al.] // *Nutr J*. 2025. Vol. 24, No. 5. URL: <https://doi.org/10.1186/s12937-025-01076-x> (дата обращения: 11.12.2025).
6. Niacin intake and mortality (total and cardiovascular disease) in patients with cardiovascular disease: Insights from NHANES 2003-2018 [Electronic resource] / Yang R. [et al.] // *Nutr J*. 2024. Vol. 23. P. 123. URL: <https://doi.org/10.1186/s12937-024-01027-y> (дата обращения: 11.12.2025).
7. Associations of serum vitamin B<sub>6</sub> status with the risks of cardiovascular, cancer, and all-cause mortality in the elderly / Wang Pengxi [et al.] // *Frontiers in Immunology*. 2024. Vol. 15. DOI=10.3389/fimmu.2024.1354958
8. Folate Biomarkers, Folate Intake, and Risk of Death From All Causes, Cardiovascular Disease, and Cancer: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies

[Electronic resource] / Melika Fallah [et al.] // Nutrition Reviews. 2025. Vol. 83, Iss. 3. P. e801-e813. URL: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuae077> (дата обращения: 11.12.2025).

9. Prevalence of Functional Cobalamin Deficiency and Relevant Mortality Risk in the General Population: An Unheeded Phenotype Distinct from Cobalamin Deficiency [Electronic resource] / Liu Y [et al.] // Journal of the American Nutrition Association. 2024. Vol. 44, No. 3. P. 181-189. URL: <https://doi.org/10.1080/27697061.2024.2412594> (дата обращения: 11.12.2025).

10. Higher vitamin K1 intakes are associated with lower subclinical atherosclerosis and lower risk for atherosclerotic vascular disease-related outcomes in older women [Electronic resource] / Dupuy M. [et al.] // Eur J Nutr. 2025. Vol. 171. URL: <https://doi.org/10.1007/s00394-025-03686-x> (дата обращения: 11.12.2025).

11. Associations between nine dietary minerals intake and all-cause mortality in individuals with atherosclerotic cardiovascular disease / Duan Chenglin [et al.] // Frontiers in Nutrition. 2024. Vol. 11. DOI=10.3389/fnut.2024.1447167.

12. Mark Fenelon, Laura G. Gómez-Mascaraque, Thom Huppertz, Influence of citrate- and phosphate-based calcium sequestering salts on the disruption of casein micelles / Gaurav Kr Deshwal [et al.] // Food Hydrocolloids. 2024. Vol. 153. P. 109970 ISSN 0268-005X. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109970> (дата обращения: 22.12.2025).

13. Review of the relationships among polysaccharides, gut microbiota, and human health / Song Q. [et al.] // Food Res Int. 2021. Vol. 140. P. 109858. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109858. Epub 2020 Nov 2. PMID: 33648176.

14. Strategies to Assess the Impact of Sustainable Functional Food Ingredients on Gut Microbiota / de Carvalho N.M. [et al.] // Foods. 2023. Vol. 31, No. 12(11). P. 0253045.

15. Comparison of milling fractions of tartary buckwheat for their phenolics and antioxidant properties [Electronic resource] / Guo X.D. [et al.] // Food Res Int. 2012. Vol. 49, No. 1. P. 53-59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.019> (дата обращения: 11.12.2025).

16. The Improvement of Sensory and Bioactive Properties of Yogurt with the Introduction of Tartary Buckwheat [Electronic resource] / Ye Y. [et al.] // Foods. 2022. Vol. 11, No. 12. P. 1774. URL: <https://doi.org/10.3390/foods11121774> (дата обращения: 11.12.2025).

17. ТР ТС 022/2011 Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» [Электронный ресурс]: принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 09 октября 2013 года № 67. URL: <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TrTsPishevkaMarkirovka.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

18. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) [Электронный ресурс]: утверждены решением Комиссии Таможенного союза № 299 от 28 мая 2010 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902249109> (дата обращения: 23.12.2025).

19. ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011. Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Ч. 3. Руководство по оценке соответствия техническим условиям на продукцию для определения органолептических свойств путем подсчета баллов [Электронный ресурс]. М.: Стандартинформ, 2012. 8 с. URL: <https://meganorm.ru/Data/512/51241.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

20. ГОСТ 32892-2014 Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности (с поправками) [Электронный ресурс]. М.: Стандартинформ, 2015. 10 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293768/4293768145.pdf> (дата обращения: 23.12.2025).

21. Mekmene O, Le Graët Y, Gaucheron F. Theoretical model for calculating ionic equilibria in milk as a function of pH: comparison to experiment // J Agric Food Chem. 2010. Vol. 58, No. 7. P. 4440-7. doi: 10.1021/jf903628r. PMID: 20225854.

22. Modelling ion composition in simulated milk ultrafiltrate (SMUF) II. Influence of pH, ionic strength and polyphosphates / Gao R. [et al.] // Food Chemistry. 2010. Vol. 122. P. 710-715.

23. Bauland J., Gaucheron F., Croguennec T. Milk salt composition, distribution and analysis // In Encyclopedia of Dairy Sciences. 2022. Vol. 3. P. 941-953.

24. Renhe I.R.T., Indris L.M, Corredig M. Effect of calcium chelators on heat stability and heat-induced changes of milk microfiltered concentrates [Electronic resource] // *International Dairy Journal*. 2018. Vol. 82. P. 4-10. ISSN 0958-6946. URL: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.02.009> (дата обращения: 23.12.2025).

25. Review on the Effect of Calcium Sequestering Salts on Casein Micelles: From Model Milk Protein Systems to Processed Cheese / Deshwal G.K. [et al.] // *Molecules*. 2023. Vol. 28, No. 5. P. 2085. doi: 10.3390/molecules28052085. PMID: 36903331; PMCID: PMC10004449.

26. Philippe M., Le Graët Y., Gaucheron F. The effects of different cations on the physicochemical characteristics of casein micelles [Electronic resource] // *Food Chemistry*. 2005. Vol. 90, Iss. 4. P. 673-683. ISSN 0308-8146. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.001> (дата обращения: 23.12.2025).

27. Physicochemical characterization of calcium-supplemented skim milk [Electronic resource] / Philippe M. [et al.] // *Le Lait*. 2003. Vol. 83, No. 1. P. 45-59. URL: <https://hal.science/hal-00895357/document> (дата обращения: 23.12.2025).

## REFERENCES

1. Oganov R.G., Shalnova S.A., Maslennikova G.Ya. Epidemiology and prevention of cardiovascular diseases [Electronic resource] // *Cardiology: News. Opinions. Training*. 2025. No. 1 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/epidemiologiya-i-profilaktika-serdechno-sosudistyh-zabolevaniy> (date of access: 11.12.2025). [In Russ.]

2. Yakshina A.D. Cardiovascular diseases in Russia: a statistical review [Electronic resource] // *Science through the Prism of Time*. 2024. No. 1 (82). URL: <https://naupri.ru/default/Naupri01-82-24.pdf> (date of access: 11.12.2025). [In Russ.]

3. The role of nutrition in the prevention of cardiovascular diseases [Electronic resource] / Barbarash O.L. [et al.]. 2019. No. 10 (165). P. 11-15. DOI: 10.31550/1727-2378-2019-165-10-11-15. URL: [https://journaldoctor.ru/upload/iblock/aef/2\\_The\\_Role\\_of\\_Diet\\_in\\_the\\_Prevention\\_of\\_Cardiovascular\\_Disease.pdf](https://journaldoctor.ru/upload/iblock/aef/2_The_Role_of_Diet_in_the_Prevention_of_Cardiovascular_Disease.pdf) (accessed: 11.12.2025). [In Russ.]

4. Impact of buttermilk consumption on plasma lipids and surrogate markers of cholesterol homeostasis in men and women / Conway V. [et al.] // *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2013. Vol. 23, No. 12. P. 1255-62. doi: 10.1016/j.numecd.2013.03.003. Epub 2013 Jun 17. PMID: 23786821.

5. Combined 25-hydroxyvitamin D concentrations and physical activity on mortality in US stroke survivors: findings from the NHANES [Electronic resource] / Liao J. [et al.] // *Nutr J*. 2025. Vol. 24, No. 5. URL: <https://doi.org/10.1186/s12937-025-01076-x> (access date: 12/11/2025).

6. Niacin intake and mortality (total and cardiovascular disease) in patients with cardiovascular disease: Insights from NHANES 2003-2018 [Electronic resource] / Yang R. [et al.] // *Nutr J*. 2024. Vol. 23. P. 123. URL: <https://doi.org/10.1186/s12937-024-01027-y> (access date: 12/11/2025).

7. Associations of serum vitamin B6 status with the risks of cardiovascular, cancer, and all-cause mortality in the elderly / Wang Pengxi [et al.] // *Frontiers in Immunology*. 2024. Vol. 15. DOI=10.3389/fimmu.2024.1354958

8. Folate Biomarkers, Folate Intake, and Risk of Death From All Causes, Cardiovascular Disease, and Cancer: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies [Electronic resource] / Melika Fallah [et al.] // *Nutrition Reviews*. 2025. Vol. 83, Iss. 3. P. e801-e813. URL: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuae077> (access date: 12/11/2025).

9. Prevalence of Functional Cobalamin Deficiency and Relevant Mortality Risk in the General Population: An Unheeded Phenotype Distinct from Cobalamin Deficiency [Electronic resource] / Liu Y [et al.] // *Journal of the American Nutrition Association*. 2024. Vol. 44, No. 3. P. 181-189. URL: <https://doi.org/10.1080/27697061.2024.2412594> (access date: 12/11/2025).

10. Higher vitamin K1 intakes are associated with lower subclinical atherosclerosis and lower risk for atherosclerotic vascular disease-related outcomes in older women [Electronic resource] / Dupuy M. [et al.] // *Eur J Nutr* 64. 2025. Vol. 171. URL: <https://doi.org/10.1007/s00394-025-03686-x> (access date: 12/11/2025).

11. Associations between nine dietary minerals intake and all-cause mortality in individuals with atherosclerotic cardiovascular disease / Duan Chenglin [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. 2024. Vol. 11. DOI=10.3389/fnut.2024.1447167
12. Mark Fenelon, Laura G. Gómez-Mascaraque, Thom Huppertz, Influence of citrate- and phosphate-based calcium sequestering salts on the disruption of casein micelles / Gaurav Kr Deshwal [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2024. Vol. 153. P. 109970 ISSN 0268-005X. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109970> (access date: 12/22/2025).
13. Review of the relationships among polysaccharides, gut microbiota, and human health / Song Q. [et al.] // *Food Res Int*. 2021. Vol. 140. P. 109858. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109858. Epub 2020 Nov 2. PMID: 33648176.
14. Strategies to Assess the Impact of Sustainable Functional Food Ingredients on Gut Microbiota / de Carvalho N.M. [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 31, No. 12 (11). P. 0253045.
15. Comparison of milling fractions of tartary buckwheat for their phenolics and antioxidant properties [Electronic resource] / Guo X.D. [et al.] // *Food Res Int*. 2012. Vol. 49, No. 1. P. 53-59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.019> (access date: 12/11/2025).
16. The Improvement of Sensory and Bioactive Properties of Yogurt with the Introduction of Tartary Buckwheat [Electronic resource] / Ye Y. [et al.] // *Foods*. 2022. Vol. 11, No. 12. P. 1774. URL: <https://doi.org/10.3390/foods11121774> (accessed: 11.12.2025).
17. TR CU 022/2011 Technical Regulations of the Customs Union “Food Products in Terms of Their Labeling” [Electronic resource]: adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated October 9, 2013, No. 67. URL: <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TrTsP-ishevkaMarkirovka.pdf> (date of access: 23.12.2025). [In Russ.]
18. Uniform Sanitary-Epidemiological and Hygienic Requirements for Products (Goods) Subject to Sanitary-Epidemiological Supervision (Control) [Electronic resource]: approved By Decision of the Customs Union Commission No. 299 of May 28, 2010. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902249109> (date of access: December 23, 2025).
19. GOST R ISO 22935-3-2011. Milk and dairy products. Sensory analysis. Part 3. Guidelines for assessing conformity with product specifications for determining organoleptic properties by scoring [Electronic resource]. Moscow: Standartinform, 2012. 8 p. Available at: <https://megainform.ru/Data/512/51241.pdf> (date of access: December 23, 2025).
20. GOST 32892-2014 Milk and dairy products. Method for measuring active acidity (with amendments) [Electronic resource]. Moscow: Standartinform, 2015. 10 p. URL: <https://megainform.ru/Data2/1/4293768/4293768145.pdf> (date of access: 23.12.2025).
21. Mekmene O, Le Graët Y, Gaucheron F. Theoretical model for calculating ionic equilibria in milk as a function of pH: comparison to experiment // *J Agric Food Chem*. 2010. Vol. 58, No. 7. P. 4440-7. doi: 10.1021/jf903628r. PMID: 20225854.
22. Modeling ion composition in simulated milk ultrafiltrate (SMUF) II. Influence of pH, ionic strength and polyphosphates / Gao R. [et al.] // *Food Chemistry*. 2010. Vol. 122. P. 710-715.
23. Bauland J., Gaucheron F., Croguennec T. Milk salt composition, distribution and analysis // In *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2022. Vol. 3. P. 941-953.
24. Renhe I.R.T., Indris L.M., Corredig M. Effect of calcium chelators on heat stability and heat-induced changes in milk microfiltered concentrates [Electronic resource] // *International Dairy Journal*. 2018. Vol. 82. P. 4-10. ISSN 0958-6946. URL: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.02.009> (access date: 12/23/2025).
25. Review on the Effect of Calcium Sequestering Salts on Casein Micelles: From Model Milk Protein Systems to Processed Cheese / Deshwal G.K. [et al.] // *Molecules*. 2023. Vol. 28, No. 5. P. 2085. doi: 10.3390/molecules28052085. PMID: 36903331; PMCID: PMC10004449.
26. Philippe M., Le Graët Y., Gaucheron F. The effects of different reactions on the physicochemical characteristics of casein micelles [Electronic resource] // *Food Chemistry*. 2005. Vol. 90, Iss. 4. P. 673-683. ISSN 0308-8146. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.001> (accessed: 23.12.2025).
27. Physicochemical characterization of calcium-supplemented skim milk [Electronic resource] / Philippe M. [et al.] // *Le Lait*. 2003. Vol. 83, No. 1. P. 45-59. URL: <https://hal.science/hal-00895357/document> (accessed: 23.12.2025).

### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Ермолина Александра Михайловна**, аспирант кафедры технологии молока и молочных продуктов, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, г. Вологда, село Молочное, ул. Шмидта, д. 2, e-mail: alexandra27e@yandex.ru

**Новокшанова Алла Львовна**, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»; 109240, Российская Федерация, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>, e-mail: novokshanova@ion.ru

**Абабкова Анна Александровна**, кандидат технических наук, инженер-химик, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, г. Вологда, село Молочное, ул. Шмидта, д. 2, e-mail: primadonna.88@yandex.ru

**Alexandra M. Ermolina**, Postgraduate student, Department of Milk and Dairy Products Technology, Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin; 160555, the Russian Federation, Vologda, Molochnoye village, 2 Shmidta St., e-mail: alexandra27e@yandex.ru

**Alla L. Novokshanova**, Dr Sci. (Eng.), Associate Professor, A leading researcher, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety; 109240, the Russian Federation, Moscow, 2/14. Ustinsky proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>, e-mail: novokshanova@ion.ru

**Anna A. Ababkova**, PhD (Eng.), A chemical engineer, Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin; 160555, the Russian Federation, Vologda, Molochnoye village, 2 Shmidt st., e-mail: primadonna.88@yandex.ru

### **Заявленный вклад авторов**

Новокшанова Алла Львовна – разработка методики исследования, валидация данных.

Абабкова Анна Александровна – проведение эксперимента.

Ермолина Александра Михайловна – подбор литературных источников.

Ермолина Александра Михайловна – оформление статьи по требованиям журнала.

### **Claimed contribution of the authors**

Alla L. Novokshanova – research methodology development, data validation.

Anna A. Ababkova – experiment execution.

Alexandra M. Ermolina – literature selection.

Alexandra M. Ermolina – article formatting according to the requirements of the Journal.

Поступила в редакцию 19.01.2026

Поступила после рецензирования 24.02.2026

Принята к публикации 26.02.2026

Received 19.01.2026

Revised 24.02.2026

Accepted 26.02.2026