

## Изучение структурно-механических характеристик ферментированных взбитых молочных продуктов



Т. В. Подлегаева\*<sup>ORCID</sup>, Н. Г. Костина<sup>ORCID</sup>

Дата поступления в редакцию: 30.01.2020  
Дата принятия в печать: 23.03.2020

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

\*e-mail: [tpodlegaeva@yandex.ru](mailto:tpodlegaeva@yandex.ru)



© Т. В. Подлегаева, Н. Г. Костина, 2020

### Аннотация.

**Введение.** Нарастающие объемы производства и острая нехватка животных сычугов привели к новым производствам ферментных препаратов растительного и микробного происхождения. Эти ферменты имеют высокую протеолитическую активность и проявляют хорошие технологические свойства при производстве многих молочных продуктов. Целью работы является изучение пенообразующей способности и устойчивости пены восстановленного обезжиренного молока, подвергнутого ферментативному гидролизу препаратами животного и микробного происхождения.

**Объекты и методы исследования.** Образцы ферментированного восстановленного обезжиренного молока: сычужный фермент ВНИИМС-СГ-50 «НТ» (Россия), курино-говяжий фермент КГ-50 (Россия), пепсин говяжий (Россия); Fromase 750 (Франция), Pronase E (Россия); рекомбинатный химозин – препарат СНУ-МАХ М (Chr. Hansen, Дания). В образцах восстановленного сухого молока органолептические и физико-химические показатели определяли по общепринятым стандартным методикам. В ферментированных системах определяли пенообразующую способность методом кратности пен, устойчивость пены определяли по отношению высоты столба пены к первоначальному объему. Относительное содержание свободных аминокислот выявляли методом формольного титрования. Диаметр мицелл казеина в процессе гидролиза определяли методом динамического светорассеяния на анализаторе размеров частиц в низкообъемных пластиковых кюветках. Данные показатели в ферментированных системах определяли после инактивации ферментов способом пастеризации при температуре 90–92 °С в течение 3–5 сек.

**Результаты и их обсуждение.** Определили оптимальные параметры ферментации: температуру (37 °С) и продолжительность (60 мин). Наибольшие пенообразующие свойства были отмечены у молочной системы, ферментированной ферментом СНУ-МАХ М продолжительностью 30 мин – 800 %. Высокой пенообразующей способностью и относительно устойчивой взбитой массой характеризовалось молоко, обработанное ферментами микробной природы Fromase 750 и Pronase E. При оптимальных параметрах ферментации, выявленных в ходе работы, пенообразующая способность составила 740 и 700 % соответственно. При этом устойчивость находилась на уровне 80 %. Наименьшими значениями пенообразующей способности обладало молоко, ферментированное препаратами животного происхождения – СГ-50, КГ-50 и пепсином: 555, 650 и 580 % соответственно.

**Выводы.** Полученная ферментированная молочная основа может использоваться для производства широкого спектра взбитых продуктов на основе восстановленного обезжиренного молока.

**Ключевые слова.** Ферментативный гидролиз, восстановленное молоко, пенообразующая способность, микробные ферменты, ферменты животного происхождения, устойчивость пены

**Для цитирования:** Подлегаева, Т. В. Изучение структурно-механических характеристик ферментированных взбитых молочных продуктов / Т. В. Подлегаева, Н. Г. Костина // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 149–158. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-149-158>.

Original article

Available online at <http://fppt.ru/eng>

## Structural and Mechanical Characteristics of Fermented Whipped Dairy Products

T.V. Podlegaeva\*<sup>ORCID</sup>, N.G. Kostina<sup>ORCID</sup>

Received: January 30, 2020  
Accepted: March 03, 2020

Kemerovo State University,  
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

\*e-mail: [tpodlegaeva@yandex.ru](mailto:tpodlegaeva@yandex.ru)



## Abstract.

**Introduction.** Whipped dairy products can be used both as finished and semi-finished products in confectionery industry. Therefore, this sphere constantly requires new technologies. A wide range of additives, stabilizers, and structure-forming agents make it possible to get products with programmed sensory, structural, and mechanical properties. Enzymatic processing of milk base is one of the modern directions in the development of whipping process, as it requires no artificial components. Enzyme preparations of plant and microbial origin were developed to satisfy the needs of the increasing production demand and to compensate for the acute shortage of animal rennet. These enzymes have a high proteolytic activity and exhibit good technological properties in dairy industry. The research objective was to study the fermentation process with preparations of different origin and optimize the proteolysis process to obtain a milk base with a high foaming capacity and maximal stability.

**Study objects and methods.** The research featured samples of fermented reduced skim milk. The following enzymes were selected for enzymatic hydrolysis: animal origin – rennet-beef enzyme SG-50 (Russia), chicken-beef enzyme KG-50 (Russia), pepsin (Russia); microbial nature – Fromase 750 (France), Pronase E (Russia); recombinant chymosin-preparation CHY-MAX M (Denmark). The fermented systems were tested for foaming ability, foam stability, relative content of free amino acids, and the diameter of casein micelles during hydrolysis by the ratio of the height of the foam column to the initial volume. The relative content of free amino acids was determined using the method of formal titration. The diameter of casein micelles during hydrolysis was determined by dynamic light scattering using a particle size analyzer in low-volume plastic cuvettes. These indicators were determined after inactivation of enzymes by pasteurization at 90–92°C for 3–5 sec.

**Results and discussion.** Enzyme preparations of various natures were added to milk. The temperature and duration were measured as rational parameters of fermentation. After inactivation of the enzymes by pasteurization method, the foaming capacity, foam stability, and the relative content of free amino acids were determined every 30 minutes after application of the preparation. The greatest foaming properties (800%) were observed in the milk base fermented with the recombinant enzyme CHY-MAX M. However, the use of this preparation in commercial production was found undesirable due to the high activity of the enzyme and the resulting complexity of the control process. The lowest foaming ability was observed in the milk sample fermented with preparations of animal origin – SG-50, KG-50, and pepsin. The optimal foaming capacity and stable whipped mass were registered in the samples hydrolyzed with microbial preparations Fromase and Pronase. Under certain rational parameters, the foaming capacity of milk was 740% and 700%, respectively, while the stability was 80%.

**Conclusion.** The research featured a comparative analysis of the foaming capacity and stability of reduced skim milk foam obtained using preparations of animal and microbial origin. The enzymes of the microbial group showed the best results for the enzymatic hydrolysis of proteins in reduced milk.

**Keywords.** Enzymatic hydrolysis, reduced milk, foaming capacity, microbial enzymes, animal enzymes, foam stability

**For citation:** Podlegaeva TV, Kostina NG. Structural and Mechanical Characteristics of Fermented Whipped Dairy Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):149–158. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-149-158>.

## Введение

Важной задачей агропромышленного комплекса является полное и рациональное использование продовольственного сырья, а также разработка ассортимента продукции, максимально удовлетворяющего требованиям потребителей. В молочной промышленности для повышения эффективности использования сырьевых ресурсов используют полную комплексную переработку молочного сырья и увеличение производства продукции на основе сухого молока. Преимуществом данного вида сырья перед цельным молоком является концентрирование полезных веществ. Кроме того, сухое молоко хранится значительно дольше, чем цельное, без потери своих пищевых и технологических свойств.

Актуальным остается разработка технологии взбитых дисперсных молочных продуктов, которые используются как в качестве самостоятельных продуктов в виде молочных десертов или холодных напитков, например молочных коктейлей, так и в качестве отделочных полуфабрикатов в производстве кондитерских изделий. Широкий диапазон добавок, стабилизаторов и структурообразователей

позволяет получить продукцию с заданными органолептическими и структурно-механическими свойствами.

В качестве пищевого пенообразователя, в том числе и в молочной промышленности, используются эмульгаторы, которые позволяют создать равномерную диффузию газообразной среды в жидкости (молоке). Ассортимент таких поверхностно-активных веществ довольно широк – полиоксиэтилены, сорбитаны, лактилаты кальция или натрия и др. Современным направлением повышения качественных характеристик молочной основы без использования искусственных компонентов является ферментативная обработка. Проведенные ранее исследования показали, что биологическая обработка молочных продуктов (молоко, сыворотка) позволяет повысить способность молока к пенообразованию. Это является одним из основных показателей качества при производстве взбитых продуктов [1–3]. Данные работы отражали повышение пенообразующей способности молочной основы, подвергнутой ферментации.

Таблица 1. Характеристика протеолитических ферментов

Table 1. Profiles of proteolytic enzymes

Наименование фермента	Состав/производитель	Активность препарата	Оптимальный диапазон pH	Температура, °C	Действие
Ферменты животного происхождения					
Курино-говяжий фермент (КГ-50)	Пепсин говяжий 50 %, пепсин куриный 50 %	100 000 ± 20 000 ед.	4,0–6,0	28–40	гидролиз $\chi$ -казеинов направлен на связи, включающие фенилаланин или лейцин, гидролиз $\alpha$ - и $\beta$ -казеинов
Сычужно-говяжий фермент СГ-50	Химозин 50 %, пепсин говяжий 50 %	150000 ± 1000 ед.	4,0–6,0	28–40	
Пепсин	100 % пепсин	100000 ± 5000 ед.	4,0–6,0	28–40	
Ферменты микробного происхождения					
Fromase750 (Фромаза)	<i>Mucor miehei</i>	2200 IMCU/г	5,5–7,0	20–40	расщепление определенных пептидных связей: фен-вал, лей-тир, фен-фен или фен-тир
Pronase E	<i>Streptomyces griseus</i> K-1	5,0 DMC-U / мг	7–8,2	35–40	расщепление пептидных связей на карбоксильной стороне глутаминовой или аспарагиновой кислоты
Ферменты рекомбинатные					
CHY-MAX M	Химозин 100 %, <i>Aspergillus niger</i> var. <i>Awamori</i>	2500 UMCU/г	5,5–6,3	36–40	расщепление полипептидных цепей к-казеина по связи 105–106 (фен-мет)

Протеолитические ферменты, используемые в молочной промышленности для производства и моделирования качества продукции, делятся на ферменты животного, растительного и микробного происхождения. Традиционно для концентрирования казеиновой и жировой части молочной основы при производстве продукции применяются ферменты животного происхождения, в частности сычужный фермент (химозин).

Однако нарастающие объемы производства, дорогостоящее сырье для производства натуральных ферментов и острая нехватка животных сычужков привели к выработке новых ферментных препаратов. В настоящее время все большей популярностью пользуются ферменты, которые вырабатывают в процессе своей жизнедеятельности некоторые виды плесневых грибов – микробные ферменты [4–8].

В современных условиях микроорганизмы являются перспективным источником получения ферментов. Эти ферменты имеют высокую протеолитическую активность и проявляют хорошие технологические свойства при производстве многих молочных продуктов. В качестве продуцентов ферментных препаратов используются культуры представителей различных таксономических групп – бактерий, актиномицетов, микроскопических и высших базидиальных грибов, участвующих в круговороте органических веществ. Промышленно налажено применение как природных штаммов микроорганизмов, выделенных из естественных объектов, так и полученных искусственной селекцией с применением мутагенов. В настоящее время промышленное производство

ферментов данной группы является важным сектором биотехнологии. Широкое распространение получили ферментные препараты на основе рекомбинатного химозина.

Для исследований были выбраны ферментные препараты различного происхождения. Характеристика препаратов представлена в таблице 1.

Цель работы – изучение пенообразующей способности и устойчивости пены восстановленного обезжиренного молока, подвергнутого ферментативному гидролизу препаратами животного и микробного происхождения, в качестве основы для производства десертных молочных продуктов.

#### Объекты и методы исследования

Для исследования использовали образцы восстановленного обезжиренного молока (ГОСТ 10970-87), подвергнутые ферментативному гидролизу, а также полученную из них пену.

Для проведения ферментативного гидролиза использовали ферменты животного происхождения: сычужный фермент ВНИИМС-СГ-50 «НТ» (Россия), курино-говяжий фермент КГ-50 (Россия), пепсин говяжий (Россия); микробальной природы: Fromase 750 (Франция), Pronase E (Россия); рекомбинатный химозин – препарат CHY-MAX M (Chr. Hansen, Дания).

Органолептические и физико-химические показатели для сухого и восстановленного молока определяли по общепринятым стандартным методикам. Органолептические – по ГОСТ 29245-91, массовую долю жира – по ГОСТ 29247-91, массовую долю белка – по ГОСТ 23621-79.

Образцы сухого обезжиренного коровьего молока (м.д.ж. 1,5 %, м.д.б. – 32 %) восстанавливали дистиллированной водой в соотношении 1:6, оставляли для созревания в течение 3 ч при температуре 6–8 °С (данные параметры были определены как рациональные) [9].

Ферменты в различных концентрациях вносили в подготовленное молоко, термостатировали, используя переменные температурные и временные режимы. Инактивацию ферментов проводили пастеризацией при температуре 90–92 °С в течение 3–5 сек. Эксперименты проводили на восстановленной молочной основе без добавления хлорида кальция. Кислотность молока составила не более 20 °Т.

Для эксперимента были выбраны температурные режимы 33 ± 1 °С, 37 ± 1 °С, 41 ± 1 °С, 45 ± 1 °С.

Проведенные исследования показали, что наиболее рациональными концентрациями всех вносимых ферментных препаратов являлась 0,001 % к массе молока [2]. Именно с такой концентрацией проводили дальнейшие эксперименты.

Пенообразующую способность полученной основы после пастеризации определяли каждые 30 мин после внесения фермента, охладив их до температуры 0 ± 1 °С. Пену получали после взбивания ферментированной молочной основы на роторно-пульсационной установке ГИД-100/1 (Россия) в течение 5 мин при скорости вращения ротора 2250 об/мин. Коэффициенте заполнения рабочей камеры – 0,3.

Пенообразующую способность (%) определяли методом кратности пен – путем деления высоты столба пены после взбивания к начальному объему:

$$\Pi = (V_p/V_0)100 \quad (1)$$

где  $V_p$  – объем образовавшейся пены, см;  $V_0$  – исходный объем жидкости, см.

Устойчивость взбитой массы ( $Y$ , %) определяли по отношению высоты столба пены после заданного периода времени (30 мин) к начальному:

$$Y = (V_{30}/V_0)100 \quad (2)$$

где  $V_{30}$  – объем пены после 30 мин, см;  $V_0$  – исходный объем пены, см.

С целью разработки объективных характеристик степени ферментативного гидролиза считали целесообразным установить возможность количественной оценки продуктов распада белков. Было определено относительное содержание свободных аминокислот, а также изменение диаметра мицелл казеина. Результат определяли как среднеарифметическое по результатам трех экспериментов. Исследования проводили для всех образцов при различных температурных режимах и продолжительности реакции.

Содержание аминных групп определяли методом формольного титрования по ГОСТ 25179-90. Метод основан на высвобождении карбоксильных

групп моноаминодикарбоновых кислот белков, доступных для титрования щелочью, при добавлении в молоко формальдегида (формалина). Формалин, взаимодействуя с аминокислотными группами белков, блокирует их. Карбоксильные группы освобождаются и становятся доступными для титрования NaOH. Данный показатель определяли в ферментированном молоке до пастеризации, т. к. под воздействием высокой температуры происходят сложные конформационные изменения белковых молекул и результаты искажаются.

Измерения диаметра мицелл казеина производили методом динамического светорассеяния на анализаторе размеров частиц в низкообъемных пластиковых кюветах по ГОСТ Р 8.774–2011.

### Результаты и их обсуждение

В ходе эксперимента были получены образцы ферментированной молочной основы. Определяющими показателями при оценке и выборе препаратов для получения ферментированной основы стали пенообразующая способность молока и устойчивость пены после обработки. Основными критериями выбора послужили быстрота и относительная дешевизна метода при использовании в производственных условиях. Также учитывалась и высокая воспроизводимость результатов и разрешающая способность. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

При ферментации происходят биохимические изменения казеина и физико-химические процессы коагуляции и структурообразования. Анализ данных показал, что наибольшей пенообразующей способностью обладает молоко, ферментированное рекомбинатным ферментом СНУ-МАХ М. Способность к пенообразованию у гидролизованных белков выросла в 1,6 раза по сравнению с контрольным образцом восстановленного молока (800 %). Данный показатель характерен для молочной смеси, ферментированной в течение 30 мин при рекомендованной для действия фермента температуре 33–37 °С. После указанного времени молочные белки начинают агрегировать, что противоречит начальным условиям настоящего эксперимента. По этой причине невозможно использовать фермент данной группы в подготовке молока как основы для десертов или коктейлей, т. к. сложно контролировать ход технологического процесса. Кроме того, изменение качества исходного сырья, например, повышение кислотности, провоцирует ускорение процесса. Дальнейшие исследования по уменьшению концентрации данного фермента до 0,0005 % незначительно сократили время ферментации до появления сгустка. Но при этом снизилась пенообразующая способность, ее максимум составил 680 %.

Использование ферментов микробиальной группы обозначило высокий показатель пенообразующей

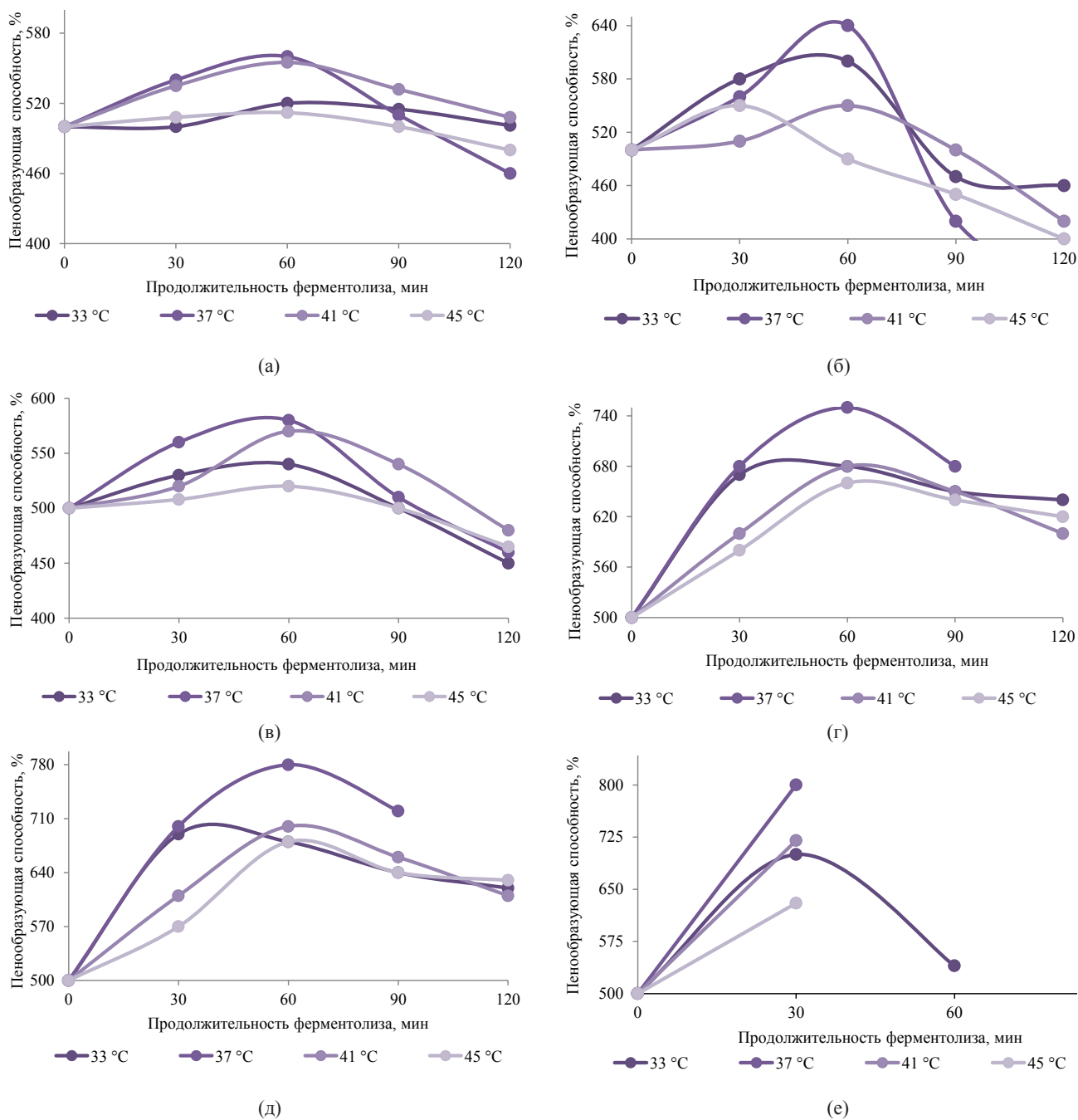


Рисунок 1. Влияние на пенообразующую способность выдержки восстановленного молока с ферментами: (а) сычужно-говяжий фермент СГ-50; (б) курино-говяжий фермент КГ-50; (в) пепсин; (г) Fromase 750; (д) Pronase E; (е) CHY-MAX

Figure 1. Effect of enzymes on foaming ability: (a) rennet-beef enzyme SG-50; (б) chicken and beef enzyme KG-50; (в) pepsin; (г) Fromase 750; (д) Pronase E; (е) CHY-MAX

способности восстановленного молока, гидролизованного ими. Максимальные значения выявлены при температуре 37 °С. По сравнению с контрольным образцом увеличение при ферментации Pronase E составило 780 %, Fromase 750 – около 740 %. При указанной температуре происходит более активное воздействие фермента на мицеллы казеина. Такие показатели наблюдались после 60 мин после

внесения препарата, продолжение ферментации до 90 мин привело к белковой коагуляции. Увеличение температуры обработки до 41–45 °С исключило образование сгустка вплоть до 120 мин. Однако это негативно сказалось на качестве молочной пены. При таких повышенных температурах наблюдается ослабление специфической коллоидно-химической структуры. В результате снижается каталитическая

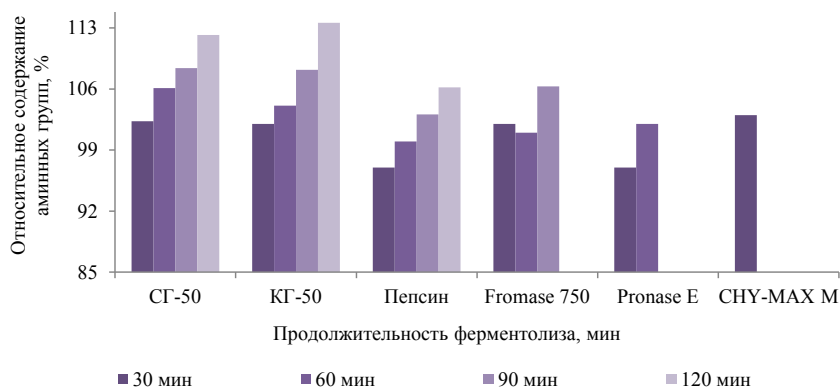


Рисунок 2. Влияние ферментов на изменение относительного содержания аминных групп восстановленного молока (содержание в неферментированном образце принято за 100 %)

Figure 2. Effect of enzymes on the relative content of amine groups in reduced milk. The content in the unfermented sample is taken for 100%

активность ферментов, накопление продуктов распада макромолекул приводят к снижению пенообразующей способности. Можно считать, что продолжительность ферментативного гидролиза в пределах 60 мин при температуре  $37 \pm 2^\circ\text{C}$  является рациональной и приемлемой.

Наименьшей пенообразующей способностью обладает молоко, обработанное ферментами животного происхождения. У СГ-50 пенный столб увеличился всего в 1,12 раза, у КГ-50 – в 1,3 раза, у пепсина – в 1,16 раза. При этом на протяжении всей обработки агрегация молекул белка не наблюдалась. Эти факторы говорят о невысокой протеолитической активности ферментов данной группы по сравнению с ферментами микробиальной и рекомбинантной группы.

С целью разработки объективных характеристик степени ферментативного гидролиза было определено относительное содержание свободных аминокислот и изменение диаметра мицелл казеина. Обобщенные данные эксперимента при оптимальной температуре  $37^\circ\text{C}$  и концентрации фермента 0,001 % представлены на рисунке 2. Содержание свободных аминокислот в контрольном образце (молочной системе, не подвергнутой ферментативному гидролизу), принято за 100 %.

Данные, представленные на рисунке 2, позволили установить, что в результате ферментативного гидролиза относительное количество аминных групп постепенно увеличивается (в среднем прирост составил 0,5–12,6 %). В результате действия сычужного фермента, который в большей степени атакует  $\alpha$ -казеин и медленно/почти не атакует  $\beta$ -казеин, происходит неглубокий распад казеина с образованием высокомолекулярных полипептидов и пептидов. Процесс накопления свободных аминокислот происходит постепенно. В некоторых случаях количество свободных аминокислот на начальном этапе процесса снижается – это можно наблюдать у молочной основы, ферментированной пепсином и Pronase E. Вероятно, в данном случае,

кроме специфического гидролиза, имеет место быть неспецифичная ферментация с блокировкой аминных групп в результате фермент-субстратного взаимодействия и образования макропептидов. В результате расщепления ферментом пептидных связей казеинаткальцийфосфатного комплекса атакуется часть молекулы белка к-казеина по связи между фрагментами номер 105 и 106, после которой и следует макропептид. Результат – последний отсоединяется от белковой молекулы.

Максимальная пенообразующая способность и устойчивость дисперсной системы наблюдается при незначительном накоплении свободных аминокислот. Это происходит как при использовании ферментов животного происхождения, так и микробиальных. Накопление продуктов распада снижает образование межфазных пенных структур.

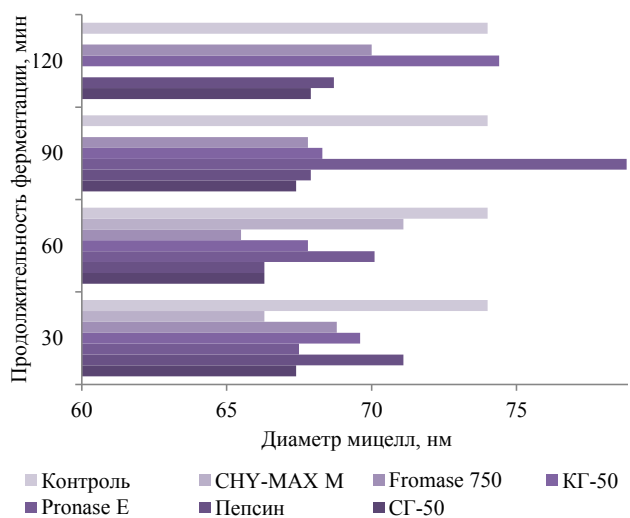


Рисунок 3. Динамика изменения диаметра мицелл казеина под действием ферментов

Figure 3. Effect of enzymes on casein micelle diameter: dynamic pattern

Таблица 2. Влияние ферментов на устойчивость пены из восстановленного молока при оптимальных параметрах

Table 2. Effect of enzymes on the stability of the foam in reduced milk at optimal parameters

Наименование фермента	Концентрация, %	Рациональная температура, °С	Продолжительность ферментации, мин	Пенообразующая способность, %	Устойчивость пены ( $x \pm m$ , $m \leq 0,05$ ), %	
					контроль	исследуемый образец
Сычужно-говяжий фермент СГ-50	0,001	37	60	555	72	67
Курино-говяжий фермент (КГ-50)	0,001	37	60	650	72	43
Пепсин	0,001	37	60	580	72	56
Fromase 750 (Фромаза)	0,001	37	60	740	72	79
Pronase E	0,001	37	60	780	72	80
СНУ-МАХ М	0,001	37	30	800	72	86

Изменение диаметра мицелл казеина под действием ферментов представлено на рисунке 3.

В результате отщепления гликомакропептида под действием фермента казеиновые частицы теряют заряд, а следовательно, и устойчивость, и переходят в параказеиновые, которые за счет сил молекулярного притяжения образуют агрегаты. Анализ рисунка 3 и сравнение с результатами рисунка 1 показали, что увеличение размера частиц дисперсной фазы не всегда приводит к повышению пенообразующих свойств системы. Возможно, что в данном случае происходит изменение адсорбционного поведения ферментированных белков на границе плазма-воздух – увеличивается межфазная поверхность субмицелл казеина и происходит интенсивная флотация в межфазную поверхность данных субмицелл, которая и приводит к повышению пенообразования.

Одной из основных структурно-механических характеристик, влияющих на качество взбитых молочных продуктов, является устойчивость пены. Пена, полученная из молока, подвергнутого ферментативному гидролизу, обладает отличным, по сравнению с контрольным образцом, значением устойчивости.

На следующем этапе определяли устойчивость взбитой массы при рациональных параметрах ферментативного процесса, установленного ранее для каждого вида фермента. Данные эксперимента представлены в таблице 2.

Данные таблицы показали, что наибольшей устойчивостью обладает взбитая масса из молока, ферментированного СНУ-МАХ М – 86 %. Высокие показатели устойчивости имеют образцы молочной основы, обработанной микробиальными препаратами. Устойчивость ферментированных животными препаратами систем снижается по сравнению с контрольным образцом восстановленного молока.

На начальном этапе ферментации в результате снижения дезагрегации мицелл казеина и уменьшению межмолекулярных сил взаимодействия происходит снижение вязкости системы и поверхностного натяжения.

В ходе дальнейшей обработки происходит расщепление стабилизирующего компонента казеиновой мицеллы –  $\chi$ -казеина с выделением пептида (казеиномакропептид). Макропептиды отделяются от белковой молекулы и переходят в окружающую систему. Также начинают образовываться агрегированные молекулы (флокулы), приводящие к образованию еще более крупных белковых частиц. Система приобретает гелеобразную структуру, приводящую к повышению вязкости. Полученная пена из раствора повышенной вязкости обладает мелкодисперсной структурой с мелким размером частиц, что также повышает устойчивость полученной пенной массы.

В случае высокой активности фермента (Fromase 750, Pronase E, СНУ-МАХ М) стадия дезагрегации мицелл казеина и агрегация белковой фазы протекают интенсивно и приводят к быстрой коагуляции белка. Повышение вязкости системы наблюдается уже через 30 мин после внесения препарата.

### Выводы

Установлено влияние ферментативного гидролиза ферментами различного происхождения на основные структурно-механические характеристики взбитых молочных продуктов из восстановленного сухого молока – пенообразующую способность и устойчивость пены. Наибольшие пенообразующие свойства были отмечены у молочной системы, ферментированной рекомбинатным ферментом СНУ-МАХ М. Максимум пенообразующей способности составил 800 %. В результате высокой активности препарата ферментативный гидролиз протекал очень активно и после 60 мин обработки белок коагулировал. Такое явление является нежелательным в технологическом процессе, т. к. сложно контролировать ход протекающих реакций.

Наименьшими значениями пенообразующей способности обладала молочная основа, ферментированная препаратами животного происхождения

– СГ-50, КГ-50 и пепсином. Это связано с проявлением специфичной ферментации, при которой образуются продукты расщепления белка, обладающие пониженными свойствами к образованию межфазных структур. По этой причине ферменты данной группы нежелательно использовать в производстве ферментированной молочной основы. Кроме того, производство ферментов животного происхождения сократилось, что привело к дефициту препаратов. Использование данной группы препаратов не приводит к значительному улучшению пенообразующих свойств.

Высокой пенообразующей способностью и относительно устойчивой взбитой массой характеризовалось молоко, обработанное ферментами микробальной природы Fromase 750 и Pronase E. Пенообразующая способность при определенных рациональных параметрах процесса составила 740 и 780 % соответственно. Устойчивость находилась на уровне 80 %. Именно эта группа ферментов имеет все преимущества для ферментативного гидролиза белков восстановленного молока.

Полученные результаты позволяют рекомендовать процесс ферментации восстановленного обезжиренного молока ферментами микробального происхождения как способ повышения пенообразующей способности основы. Данную ферментированную систему можно использовать для производства взбитых продуктов широкого спектра.

#### Критерий авторства

Т. В. Подлегаева руководила проектом. Н. Г. Костина принимала участие в экспериментальных исследованиях.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет

#### Contribution

T.V. Podlegaeva supervised the project. N.G. Kostina performed the experimental studies.

#### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

#### Список литературы

1. Просеков, А. Ю. Ферментация молока для повышения пенообразующей способности / А. Ю. Просеков, Т. В. Подлегаева, Р. С. Новиков // Молочная промышленность. – 2002. – № 6. – С. 47.
2. Просеков, А. Ю. Биологическая обработка молока для улучшения свойств при получении дисперсных молочных продуктов / А. Ю. Просеков, Т. В. Подлегаева, И. С. Сергеева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 8. – С. 45–47.
3. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran / A. Prosekov, O. Babich, O. Kriger [et al.] // Food Bioscience. – 2018. – Vol. 24. – P. 46–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
4. Jacob, M. Recent advances in milk clotting enzymes / V. Jacob, D. Jaros, H. Rohm // International journal of dairy technology. – 2011. – Vol. 64, № 1. – P. 14–33. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>.
5. Lebedeva, G. V. Purification and characterization of milk-clotting enzymes from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm) / G. V. Lebedeva, M. T. Proskuryakov // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2009. – Vol. 45, № 6. – P. 623–625. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0003683809060088>.
6. Biophysical evaluation of milk-clotting enzymes processed by high pressure / B. R. D. C. Leite Junior, A. A. L. Tribst, N. J. Grant [et al.] // Food Research International. – 2017. – Vol. 97. – P. 116–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.042>.
7. Milk-clotting enzymes produced by *Aspergillus flavo furcatis* strains on Amazonic fruit waste / M. M. Alecrim, R. A. Palheta, M. F. S. Teixeira [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 50, № 1. – P. 151–157. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12677>.
8. Investigating antibiotic activity of the genus bacillus strains and properties of their bacteriocins in order to develop next-generation pharmaceuticals / M. I. Zimina, S. A. Sukhih, O. O. Babich [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 2. – P. 92–100. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-92-100>.
9. The function of the milk-clotting enzymes bovine and camel chymosin studied by a fluorescence resonance energy transfer assay / J. L. Jensen, J. Jacobsen, M. L. Moss [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2015. – Vol. 98, № 5. – P. 2853–2860. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8672>.
10. Aspartic proteinases from *Mucor* spp. in cheese manufacturing / S. Yegin, M. Fernandez-Lahore, A. Jose Gama Salgado [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2011. – Vol. 89, № 4. – P. 949–960. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-010-3020-6>.
11. Просеков, А. Ю. Пенообразующая способность восстановленного цельного молока / А. Ю. Просеков, Т. В. Подлегаева, Р. С. Новиков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2001. – Т. 264–265, № 5–6. – С. 39–40.
12. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran / A. Prosekov, O. Babich, O. Kriger [et al.] // Food Bioscience. – 2018. – Vol. 24. – P. 46–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.



13. Kumar, A. B. V. Non-specific depolymerization of chitosan by pronase and characterization of the resultant products / A. B. V. Kumar, L. R. Gowda, R. N. Tharanathan // *European Journal of Biochemistry*. – 2004. – Vol. 271, № 4. – P. 713–723. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.2003.03975.x>.
14. Шляпникова, С. В. Особенности коагуляции молока: сычужный ферментный препарат и его аналоги / С. В. Шляпникова, Э. Р. Батырова // *Биомика*. – 2017. – Vol. 9, № 1. – P. 033–041.
15. Effects of ultrasound on the fermentation profile of fermented milk products incorporated with lactic acid bacteria / A. M. N. L. Abesinghe, N. Islam, J. K. Vidanarachchi [et al.] // *International Dairy Journal*. – 2019. – Vol. 90. – P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.10.006>.
16. Харитонов, В. Д. Технология непрерывного процесса ферментации при производстве кисломолочных продуктов / В. Д. Харитонов, О. А. Гераймович // *Инновации в сельском хозяйстве*. – 2019. – Т. 33, № 4. – С. 154–161.
17. Newly isolated lactic acid bacteria from silage targeting biofilms of foodborne pathogens during milk fermentation / E. Gavrilova, E. Anisimova, A. Gabelkhadieva [et al.] // *BMC Microbiology*. – 2019. – Vol. 19, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1618-0>.
18. Особенности совместной ферментации белков молока молочнокислыми бактериями различных групп / Т. Н. Головач, Н. К. Жабанос, Н. Н. Фурик [и др.] // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 76–84.
19. Beermann, C. Physiological properties of milk ingredients released by fermentation / C. Beermann, J. Hartung // *Food and Function*. – 2013. – Vol. 4, № 2. – P. 185–199. DOI: <https://doi.org/10.1039/c2fo30153a>.
20. Production of a milk-clotting enzyme by glutinous rice fermentation and partial characterization of the enzyme / X. Zhao, J. Wang, Z. Zheng [et al.] // *Journal of Food Biochemistry*. – 2015. – Vol. 39, № 1. – P. 70–79. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12108>.
21. Khanal, S. N. Evaluation of the yield, molar mass of exopolysaccharides, and rheological properties of gels formed during fermentation of milk by *Streptococcus thermophilus* strains ST-143 and ST-10255Y / S. N. Khanal, J. A. Lucey // *Journal of Dairy Science*. – 2017. – Vol. 100, № 9. – P. 6906–6917. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12835>.
22. Application of high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry to the identification of biologically active peptides produced by milk fermentation and simulated gastrointestinal digestion / B. Hernandez-Ledesma, L. Amigo, M. Ramos [et al.] // *Journal of Chromatography A*. – 2004. – Vol. 1049, № 1–2. – P. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.07.025>.

## References

1. Prosekov AYu, Podlegaeva TV, Novikov RS. Fermentatsiya moloka dlya povysheniya penoobrazuyushchey sposobnosti [Milk fermentation as a means of increasing the foaming capacity]. *Dairy Industry*. 2002;(6):47. (In Russ.).
2. Prosekov AYu, Podlegaeva TV, Sergeeva IS. Biologicheskaya obrabotka moloka dlya uluchsheniya svoystv pri poluchenii dispersnykh molochnykh produktov [Biological processing of milk as a means of improving the properties of dispersed dairy products]. *Storage and Processing of Farm Products*. 2002;(8):45–47. (In Russ.).
3. Prosekov A, Babich O, Kriger O, Ivanova S, Pavsky V, Sukhikh S, et al. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran. *Food Bioscience*. 2018;24:46–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
4. Jacob M, Jaros D, Rohm H. Recent advances in milk clotting enzymes. *International journal of dairy technology*. 2011;64(1):14–33. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>.
5. Lebedeva GV, Proskuryakov MT. Purification and characterization of milk-clotting enzymes from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2009;45(6):623–625. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0003683809060088>.
6. Leite Junior BRDC, Tribst AAL, Grant NJ, Yada RY, Cristianini M. Biophysical evaluation of milk-clotting enzymes processed by high pressure. *Food Research International*. 2017;97:116–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.042>.
7. Alecrim MM, Palheta RA, Teixeira MFS, Oliveira IMA. Milk-clotting enzymes produced by *Aspergillus flavo furcatis* strains on Amazonian fruit waste. *International Journal of Food Science and Technology*. 2015;50(1):151–157. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12677>.
8. Zimina MI, Sukhikh SA, Babich OO, Noskova SYu, Abrashina AA, Prosekov AYu. Investigating antibiotic activity of the genus bacillus strains and properties of their bacteriocins in order to develop next-generation pharmaceuticals. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(2):92–100. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-92-100>.
9. Jensen JL, Jacobsen J, Moss ML, Rasmussen F, Qvist KB, Larsen S, et al. The function of the milk-clotting enzymes bovine and camel chymosin studied by a fluorescence resonance energy transfer assay. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(5):2853–2860. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8672>.
10. Yegin S, Fernandez-Lahore M, Jose Gama Salgado A, Guvenc U, Goksungur Y, Tari C. Aspartic proteinases from *Mucor* spp. in cheese manufacturing. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2011;89(4):949–960. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-010-3020-6>.

11. Prosekov AYu, Podlegaeva TV, Novikov RS. Penobrazuyushchaya sposobnost' vosstanovlennogo tsel'nogo moloka [Foaming ability of reduced whole milk]. *News of institutes of higher education. Food technology*. 2001;264–265(5–6):39–40. (In Russ.).
12. Prosekov A, Babich O, Kriger O, Ivanova S, Pavsky V, Sukhikh S, et al. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran. *Food Bioscience*. 2018;24:46–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
13. Kumar ABV, Gowda LR, Tharanathan RN. Non-specific depolymerization of chitosan by pronase and characterization of the resultant products. *European Journal of Biochemistry*. 2004;271(4):713–723. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.2003.03975.x>.
14. Shlyapnikova SV, Batyrova ER. Features of coagulation of milk. Rennet enzyme preparation and its analogues. *Biomics*. 2017;9(1):033–041. (In Russ.).
15. Abesinghe AMNL, Islam N, Vidanarachchi JK, Prakash S, Silva KFST, Karim MA. Effects of ultrasound on the fermentation profile of fermented milk products incorporated with lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*. 2019;90:1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.10.006>.
16. Kharitonov VD, Geraimovich OA. Technology of continuous fermentation process in the production of fermented milk products. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve [Innovations in Agriculture]*. 2019;33(4):154–161.
17. Gavrilova E, Anisimova E, Gabdelkhadieva A, Nikitina E, Vafina A, Yarullina D, et al. Newly isolated lactic acid bacteria from silage targeting biofilms of foodborne pathogens during milk fermentation. *BMC Microbiology*. 2019;19(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1618-0>.
18. Halavach TN, Zhabanos NK, Furyk NN, Kurchenko VP, Rizevsky SV. The fetures of complex fermentation of milk proteins with different lactic acid bacteria. *Food Industry: Science and Technology*. 2013;19(1):76–84. (In Russ.).
19. Beermann C, Hartung J. Physiological properties of milk ingredients released by fermentation. *Food and Function*. 2013;4(2):185–199. DOI: <https://doi.org/10.1039/c2fo30153a>.
20. Zhao X, Wang J, Zheng Z, Zhao A, Yang Z. Production of a milk-clotting enzyme by glutinous rice fermentation and partial characterization of the enzyme. *Journal of Food Biochemistry*. 2015;39(1):70–79. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12108>.
21. Khanal SN, Lucey JA. Evaluation of the yield, molar mass of exopolysaccharides, and rheological properties of gels formed during fermentation of milk by *Streptococcus thermophilus* strains ST-143 and ST-10255Y. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(9):6906–6917. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12835>.
22. Hernandez-Ledesma B, Amigo L, Ramos M, Recio I. Application of high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry to the identification of biologically active peptides produced by milk fermentation and simulated gastrointestinal digestion. *Journal of Chromatography A*. 2004;1049(1–2):107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.07.025>.

#### Сведения об авторах

##### Подлегаева Татьяна Викторовна

канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-56, e-mail: mtomz85@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8542-9601>

##### Костина Наталья Геннадьевна


канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-56, e-mail: oliegh.kostin@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8917-7299>

#### Information about the authors

##### Tatiana V. Podlegaeva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Catering Technology and Organization, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-56, e-mail: mtomz85@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8542-9601>

##### Natalia G. Kostina

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Catering Technology and Organization, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-56, e-mail: oliegh.kostin@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8917-7299>