

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-2-39-50>

УДК 616.34-008.1:637.146.4:664.0



Ферментативные гидролизаты белка молочной сыворотки: перспективы использования в энтеральном питании для больных с нарушениями функций желудочно-кишечного тракта

А.Л. Новокшанова¹, Н.А. Бирюлина¹,
Д.В. Абрамов², Ю.С. Сидорова✉¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный
исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»;
г. Москва, Российская Федерация,
✉mailto:mailbox@ion.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия –
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова», РАН;
г. Углич, Российская Федерация

Аннотация. Введение. Наличие гидролизованного белка в составе специализированного продукта энтерального питания, предназначенного для больных с нарушениями функций желудочно-кишечного тракта, снижает активность гиперметаболизма, обеспечивает сохранение массы тела, препятствует развитию диареи. **Цель исследования.** Изучение физико-химических и органолептических показателей отечественных ферментативных гидролизатов сывороточных белков коровьего молока с разной степенью гидролиза и оценка перспектив их использования в составе рецептов продуктов энтерального питания для больных с нарушениями функций желудочно-кишечного тракта. **Объекты исследования:** гидролизат сывороточных белков молока (ФГСБ№1) глубокого расщепления из молочного альбумина, гидролизат концентрата сывороточных белков молока глубокого расщепления (ФГСБ№2), гидролизат концентрата сывороточных белков молока средней степени гидролиза (ФГСБ№3) и гидролизат концентрата сывороточных белков термостабильного – микропартикулята (ФГСБ№4). **Методы.** Состояние дисперсных систем оценивали визуально, вкус и запах – органолептически. Измеряли активную кислотность, проводили определение плотности и относительной вязкости образцов водных растворов гидролизатов. Микроскопирование образцов выполняли на световом микроскопе Axio Imager Z1 Carl Zeiss при увеличении объектива х5 и окуляра х10. Для фотосъемки использовали цифровую камеру AxioCam HRC. Размер частиц при электронном микроскопировании вычисляли расчетным методом. **Результаты и обсуждение.** Для растворения ферментативных гидролизатов с концентрацией 8 % приемлемы температуры от 20 °С до 40 °С. Образцы ФГКСБ№2 и ФГКСБ№4 были менее горькими и получили лучшие органолептические оценки восприятия, что более приемлемо для создания продукта энтерального питания. Со снижением степени гидролиза достоверно нарастала вязкость образцов. Более высокую степень дисперсности имели образцы ФГСБ№1 и ФГСБ№2, по сравнению с ФГСБ3 и ФГСБ4. **Заключение.** По совокупности органолептических и физико-химических показателей, а также с учетом более высокой степени гидролиза белка, оптимальным для использования в составе рецептуры специализированного пищевого продукта для энтерального питания может быть признан гидролизат концентрата сывороточных белков молока глубокого расщепления (ФГСБ№1).

Ключевые слова: белок молочной сыворотки, гидролиз, ферменты, протеазы, вязкость, растворимость, органолептические показатели, вкус, консистенция

Для цитирования: Сидорова Ю.С., Бирюлина Н.А., Абрамов Д.В., Новокшанова А.Л. Ферментативные гидролизаты белка молочной сыворотки: перспективы использования в энтеральном питании для больных с нарушениями функций желудочно-кишечного тракта. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22 (2): 39-50. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-2-39-50>

Финансирование. Работа выполнена за счет средств Государственного задания тема № FGMF-2025-0011

Enzymatic hydrolysates of whey protein: prospects for the use in enteral nutrition for patients with gastrointestinal disorders

A.L. Novokshanova¹, N.A. Biryulina¹,
D.V. Abramov², Yu.S. Sidorova✉¹

¹*Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology, and Food Safety;
Moscow, the Russian Federation,
✉mailbox@ion.ru*

²*All-Russian Research Institute of Butter and Cheese Making – a branch of the V.M. Gorbatov Federal Scientific Centre for Food Systems, the Russian Academy of Sciences;
Uglich, the Russian Federation*

Abstract. Introduction. The presence of hydrolyzed protein in the composition of a specialized enteral nutrition product intended for patients with gastrointestinal disorders reduces the activity of hypermetabolism, ensures the maintenance of body weight, and prevents the development of diarrhea. The goal of the research was to study physicochemical and organoleptic properties of domestic enzymatic hydrolysates of cow milk whey proteins with different degrees of hydrolysis and to evaluate the prospects of their use in the formulations of enteral nutrition products for patients with gastrointestinal disorders. **The objects of the research:** whey protein hydrolysate (FGSB No. 1) of deep cleavage from milk albumin, hydrolysate of whey protein concentrate of deep cleavage (FGSB No. 2), hydrolysate of whey protein concentrate of medium degree of hydrolysis (FGSB No. 3) and hydrolysate of heat-stable whey protein concentrate - microparticulate (FGSB No. 4). **The Methods.** The state of dispersed systems was assessed visually, and taste and odor were assessed organoleptically. Active acidity was measured, and the density and relative viscosity of aqueous hydrolysate solution samples were determined. Samples were examined microscopically using an Axio Imager Z1 Carl Zeiss light microscope with a 5x objective and 10x eyepiece magnification. An AxioCam HRc digital camera was used for photography. Particle size in electron microscopy was calculated using a computational method. **The results and discussion.** Temperatures from 20°C to 40°C are acceptable for dissolving enzymatic hydrolysates with a concentration of 8%. Samples FGKSB №2 and FGKSB №4 were less bitter and received better organoleptic perception scores, more acceptable for creating an enteral nutrition product. As the degree of hydrolysis decreased, the viscosity of the samples significantly increased. Samples FGSB № 1 and FGSB № 2 had a higher degree of dispersion compared to FGSB No. 3 and FGSB No. 4. **The Conclusion.** Based on the combined organoleptic and physicochemical properties, as well as the higher degree of protein hydrolysis, hydrolyzed whey protein concentrate (FGSB № 1) can be considered optimal for the use in the formulation of a specialized food product for enteral nutrition.

Keywords: whey protein, hydrolysis, enzymes, proteases, viscosity, solubility, organoleptic properties, taste, consistency

For citation: Sidorova Yu.S., Biryulina N.A., Abramov D.V., Novokshanova A.L. Enzymatic hydrolysates of whey protein: prospects for the use in enteral nutrition for patients with gastrointestinal disorders. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22 (2): 39-50. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-2-39-50>

Funding. The research was supported by State Assignment No. FGMF-2025-0011.

Введение. Промышленное производство специализированной пищевой продукции требует использования особо качественного сырья и значительного перечня биологически активных веществ. В данный момент развитие отечественной индустрии многих специализированных пищевых продуктов сдерживается из-за отсутствия собственного производства ряда ингредиентов. В частности, существует проблема обеспечения населения продуктами энтерального питания, в которых нуждаются и взрослые, и дети в посттравматический и послеоперационный периоды, при неполной проходимости пищевода, желудка и тонкой кишки, при переломах челюстей, при истощении, саркопении, кахексии и многих других тяжелых и длительно протекающих состояниях [1, с. 1-2; 2, с. 2].

Ценным ингредиентом для производства продуктов энтерального питания являются белки молочной сыворотки. Объемы сыворотки составляют от 85 до 95 % от объема молока, используемого в производстве сыра и творога. Отделяемая от казеинового сгустка в процессе коагуляции молока сыворотка представляет собой водную фракцию, в которой сохраняется большая часть пищевых веществ, включая функциональные белки и пептиды, липиды, лактозу, минеральные вещества и витамины. В зависимости от метода осаждения казеина, используемого для коагуляции молока, сыворотка может быть классифицирована на сладкую или кислую [3, с. 148]. Сыворотку используют для производства различных продуктов с добавленной стоимостью: кормов для животных, лактозы и ее производных, молочной кислоты и др. Большое значение при глубокой переработке сыворотки с использованием мембранных технологий имеют сывороточные белки. Сами по себе сывороточные белки обладают большой пищевой ценностью. Их вырабатывают в виде изолятов и концентратов. Не меньший интерес представляют производные сывороточных белков – гидролизаты. Гидролизаты сывороточного белка обладают различной биологиче-

ской активностью, включая антигипертензивное, антиоксидантное, антитромботическое, опиоидное, противомикробное, цитомодулирующее и иммуномодулирующее действие [4, с. 6-7; 5, с. 1374; 6, с. 8-10]. Они могут быть получены с помощью физико-химической, микробиологической или ферментативной обработки [7, с. 352-353].

Интерес к ферментативным процессам во всем мире усиленно растет, поскольку ферментативный биокатализ обладает рядом преимуществ: высокой селективностью, большей стабильностью по сравнению с химическими реакциями и меньшим влиянием на окружающую среду [8, с. 1]. Основными гидролитическими ферментами, на которые приходится около 60 % всего рынка, являются липазы, эпоксидгидролазы, нитрилгидролазы и протеазы [9, с. 488]. Ферментативный гидролиз белков приводит к образованию гидролизатов, степень гидролиза которых зависит от специфичности протеазы и условий гидролиза, таких как соотношение фермент/субстрат, pH, температура, активность фермента и продолжительность гидролиза. В результате этого процесса образуется смесь белковых фрагментов, различающихся по размеру, длине и аминокислотному составу, включающая олигопептиды, пептиды и свободные аминокислоты [10, с. 2]. В этой смеси присутствуют пептиды, многие из которых обладают биологической активностью [11, с. 2].

Стандартное энтеральное питание на основе цельного белка подходит большинству пациентов [12, с. 172]. В ряде случаев, например, при аллергии на белки молока или при падении активности собственных протеиназ, для снижения нагрузки на пищеварительную систему при тяжело протекающих заболеваниях в продукты энтерального питания могут быть введены частично гидролизованные белки [13, с. 625]. Наличие в смеси ди- и трипептидов способствует увеличению всасывания азота в кишечнике, не требует предварительного гидролиза белков, в результате олигомерные смеси всасываются легче, чем

полимерные [14, с. 3]. В олигомерных смесях источниками азота могут служить гидролизаты молочных белков, источниками энергии углеводы (дисахаридами и мальтодекстринами) и липиды (длинноцепочечные триглицериды, ω -3 и ω -6 незаменимые жирные кислоты и среднецепочечные триглицериды). Олигомерные смеси являются полноценными пищевыми продуктами, поскольку содержат все микронутриенты в рекомендованных количествах [15, с. 6].

В связи с вышеизложенным производство гидролизатов сывороточных белков и продуктов энтерального питания представляет особый научный и практический интерес. Возрождение в Российской Федерации производства пищевых ингредиентов и создание условий для выпуска пищевой продукции нового поколения с заданными характеристиками качества определенно является актуальным.

Согласно медико-биологическому обоснованию состава специализированного продукта для энтерального питания больных с нарушениями функций желудочно-кишечного тракта, белковый компонент должен быть частично представлен ферментативным гидролизатом сывороточного белка коровьего молока. Наличие гидролизованного белка снижает активность гиперметаболизма, обеспечивает сохранение массы тела, препятствует развитию диареи.

Среди предлагаемых на пищевом рынке ингредиентов предпочтительнее использовать сырье российского производства с тем, чтобы максимально снизить зависимость от импортных поставок. В частности, при выборе белковой составляющей исследованы молочные белки и ферментативные гидролизаты, вырабатываемые на территории Российской Федерации.

Целью данного исследования было изучение физико-химических и органолептических показателей четырех ферментативных гидролизатов сывороточных белков коровьего молока с разной степенью гидролиза и оценка перспектив их использования в составе рецептур продуктов энтерального пи-

тания для больных с нарушениями функций желудочно-кишечного тракта.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования

1. Гидролизат сывороточных белков молока (далее ФГСБ№1) глубокого расщепления был приготовлен из молочного альбумина по запатентованной технологии с использованием водных экстрактов поджелудочной железы крупного рогатого скота и свиней [16].

2. Гидролизат сывороточных белков молока глубокого расщепления и с низкой остаточной антигенностью (ФГСБ№2) также был приготовлен с использованием ферментов поджелудочной железы крупного рогатого скота и свиней из концентрата сывороточных белков с массовой долей белка 76 % по технологии [17].

3. Гидролизат сывороточных белков молока средней степени гидролиза (ФГСБ№3) был получен из концентрата сывороточных белков с массовой долей белка 76% с использованием комплекса ферментов микробного происхождения Alcalase 2,4 L и Flavourzyme 1000 L при равной дозе их внесения 1,5% по схеме, предложенной компанией-производителем ферментов Novozymes A/S (Application sheet Novozymes A/S).

4. Гидролизат сывороточных белков молока неглубокого расщепления (ФГСБ№4) был получен из концентрата сывороточных белков термостабильного – микропартикулята с использованием комплекса ферментов микробного происхождения Alcalase 2,4 L и Flavourzyme 1000 L при равной дозе их внесения 0,5 % по схеме, предложенной компанией-производителем ферментов Novozymes A/S (Application sheet Novozymes A/S).

Приготовление образцов

В работе исследовали водные растворы гидролизатов сывороточных белков с концентрацией 8%. Для этого в стеклянные стаканы вместимостью 250 см³ отщипывали соответствующие количества питьевой воды и ферментативных гидролизатов, которые вносили в воду при перемешивании стеклянной палочкой. Все операции и визуальные

наблюдения за процессом растворения ингредиентов вели при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$. После растворения ингредиентов оценивали органолептические показатели образцов.

Физико-химические методы исследования

Активную кислотность измеряли согласно [18]. Определение плотности проводили на тензиометре K20 (KRUS, GmbH). Относительную вязкость смесей определяли с помощью вискозиметра Оствальда с диаметром капилляра 0,82 мм [19, с. 93].

Микроскопирование образцов выполняли на световом микроскопе Axio Imager Z1 Carl Zeiss при увеличении объектива $\times 5$ и окуляра $\times 10$. Для фотосъемки использовали цифровую камеру AxioCam HRC.

Размер частиц при электронном микроскопировании вычисляли расчетным методом [20, с. 58-65]. Видимые частицы подразделяли на фракции по размерам: менее 0,12 мкм, от 0,12 до 0,24 мкм, от 0,24 до 0,35 мкм, от 0,35 до 0,47 мкм и от 0,47 до 0,59 мкм и строили кумулятивные кривые распределения частиц, по которым определяли показатели дисперсности образцов. Непосредственно на кривой определяли проценти́ли (dx) – размер x , ниже которого находилось определенное количество образца.

Результаты обработаны с помощью пакета статистических программ SPSS Statistics 20. Повторность опытов была трехкратной.

Результаты и их обсуждение

Все гидролизаты представляли собой однородный тонкодисперсный порошок от белого до кремового цвета со специфическим, свойственным гидролизатам белков ароматом. В таблице 1 представлены физико-химические показатели исследуемых гидролизатов.

С учетом требований, предъявляемых к олигомерным смесям энтерального питания, первоначально исследованы вкусовые характеристики ФГКСБ, поскольку известно, что по мере разрыва пептидных связей появляется проблема горького вкуса.

Для этого были приготовлены образцы с массовой долей гидролизатов 8 %, что удовлетворяет понятию «гипернитрогенный» продукт энтерального питания. Для выяснения оптимальных условий растворения использовали два температурных режима: $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Внешний вид водных растворов ферментализатов представлен на рисунке 1.

Результаты органолептической оценки водных растворов гидролизатов сывороточных белков представлены в таблице 2.

Оценивали запах, цвет, консистенцию, вкус и послевкусие образцов. Давали общую оценку восприятия по 5-ти бальной шкале.

Таким образом, из рассмотренных четырех вариантов ферментализаты сывороточных белков ФГКСБ№2 и ФГКСБ№4 были менее горькими, что наиболее приемлемо для создания продукта энтерального питания.

В условиях эксперимента все образцы ферментативных гидролизатов хорошо растворялись в воде как при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, так и при температуре $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ (рис. 2).

Продолжительность растворения всех образцов ферментативных гидролизатов в обоих температурных режимах была менее 2 мин. Однако при $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ все образцы ферментализатов растворялись быстрее чем при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. При этом установлено, что образцы ФГКСБ№2 и ФГКСБ№4 растворялись несколько быстрее в сравнении с ФГКСБ№1 и ФГКСБ№3 (рис. 2).

Таблица 1. Физико-химические характеристики ферментализатов
Table 1. Physical and chemical characteristics of enzyme lysates

Показатель	ФГКСБ№1	ФГКСБ№2	ФГКСБ№3	ФГКСБ№4
Массовая доля белка, %	80 $\pm$ 2	75 $\pm$ 2	74 $\pm$ 1	80 $\pm$ 2
Массовая доля лактозы, %	5,0 $\pm$ 1,0	5,0 $\pm$ 0,5	9,0 $\pm$ 2	5,0 $\pm$ 0,5
Зола, %	5,0 $\pm$ 0,8	5,0 $\pm$ 1,0	4,9 $\pm$ 0,6	4,8 $\pm$ 0,8
Влажность, %	5,0 $\pm$ 0,5	4,2 $\pm$ 0,5	3,4 $\pm$ 0,3	4,5 $\pm$ 0,5
Жир, %	7,0 $\pm$ 0,5	7,0 $\pm$ 0,3	5,1 $\pm$ 0,3	7,0 $\pm$ 0,6
Степень гидролиза	55 $\pm$ 5	45 $\pm$ 5	20 $\pm$ 2	11 $\pm$ 1

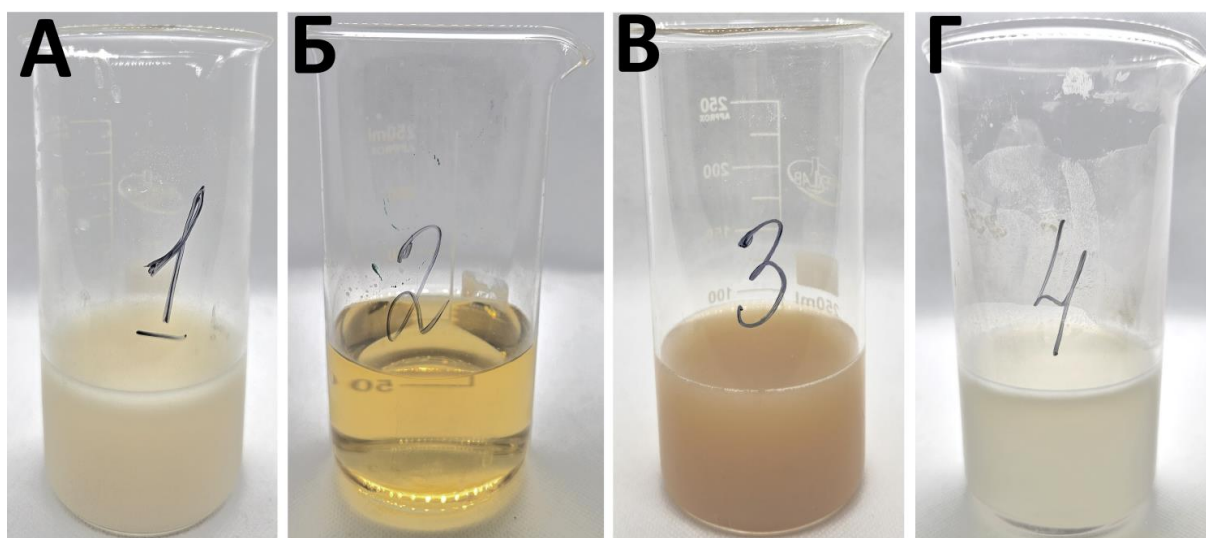


Рис. 1. Внешний вид (А – ФГСБ№1, Б – ФГСБ№2, В – ФГСБ№3, Г – ФГСБ№4)
Fig. 1. External appearance (A – FGSB No. 1, B – FGSB No. 2, C – FGSB No. 3, G – FGSB No. 4)

Таблица 2. Результаты органолептической оценки водных растворов гидролизатов сывороточных белков

Table 2. The results of organoleptic evaluation of aqueous solutions of whey protein hydrolysates

Название образца	Описание вкуса	Общая оценка восприятия, балл
ФГСБ№1	Запах интенсивный сырный. Цвет сливочно-молочный, не прозрачный. Консистенция жидкая, вязкая. Вкус горький, сырный, водянистый. Послевкусие насыщенное сырное. Через (7±1) мин выпадает осадок.	3,0-3,2
ФГСБ№2	Запах не интенсивный, сырный. Цвет соломенно-желтый, прозрачный, напоминал бульон. Консистенция жидкая, вязкая, маслянистая. Вкус водянистый с горечью средней интенсивности. Полностью растворим, осадок не образуется.	3,5-3,8
ФГСБ№3	Запах не интенсивный белковый. Цвет непрозрачный, молочно-коричневый. Консистенция жидкая, вязкая. Вкус горький, послевкусие горькое. Осадок не образуется.	2,5-3,0
ФГСБ№4	Запах не интенсивный, белковый. Цвет белый, молочный. Консистенция жидкая, вязкая. Вкус белково-молочный, горечь средней интенсивности. Осадок образуется через (2,0±0,5) мин.	4,0-4,1

Результаты определения таких показателей, как активная кислотность, плотность и вязкость водных растворов ферментативных гидролизатов, показаны в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что со снижением степени гидролиза достоверно нарастала вязкость образцов ферментативных гидро-

лизатов. Плотность и активная кислотность достоверно между исследуемыми образцами не отличалась.

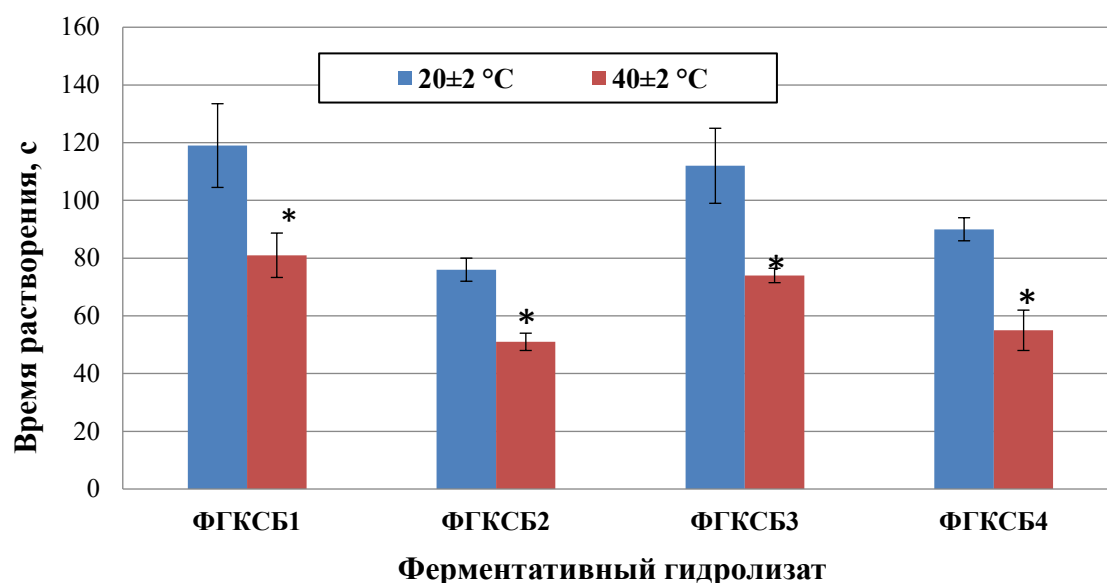
Микрофотографии образцов сухих ферментализатов представлены на рисунке 3, результаты расчета степени дисперсности – в таблице 4.

Таблица 3. Активная и титруемая кислотность, плотность, вязкость образцов

Table 3. Active and titratable acidity, density, and viscosity of samples

Образец	Активная кислотность, единицы pH	Плотность, кг/м ³	Вязкость образцов, мПа·с
ФГСБ№1	6,2-6,3	1,023±0,001	3,91±0,02
ФГСБ№2	6,3-6,4	1,024±0,001	3,85±0,02
ФГСБ№4	6,3-6,5	1,022±0,001	4,80±0,01 ^{1,2,3}
ФГСБ№3	6,5-6,7	1,019±0,001	4,24±0,02 ^{1,2}

Примечание: 1 – различия достоверны относительно ФГСБ1, 2 – различия достоверны относительно ФГСБ2, 3 – различия достоверны относительно ФГСБ3



Примечание* - различия достоверны по сравнению с временем растворения при (20±2) °C

Рис.2. Растворимость

Fig. 2. Solubility

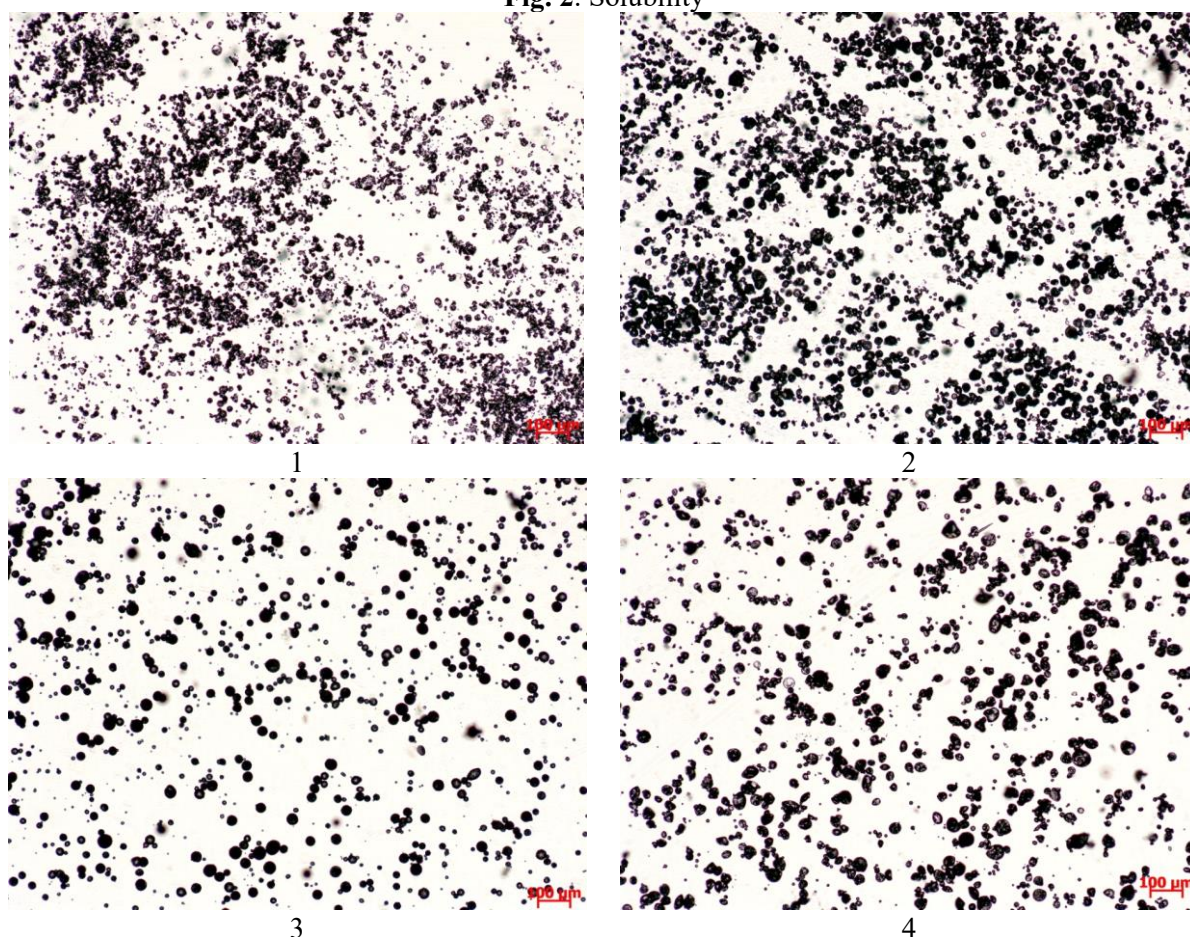


Рис. 3. Микроструктура образцов ферментативных гидролизатов с разной степенью гидролиза, где 1 – ФГКСБ№1, 2 – ФГКСБ№2; 3 – ФГКСБ№3; 4 – ФГКСБ№4

Fig. 3. Microstructure of enzymatic hydrolysate samples with different degrees of hydrolysis, where 1 is FGSB No. 1, 2 is FGSB No. 2; 3 is FGSB No. 3; 4 is FGSB No. 4

Таблица 4. Расчетные размеры частиц в ферментолизатах сывороточных белков
Table 4. Calculated particle sizes in whey protein enzyme lysates

Расчетные диаметры, мкм	Значения			
	ФГКСБ№1	ФГКСБ№2	ФГКСБ№3	ФГКСБ№4
d ₁₀ , мкм	0,02±0,01	0,04±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01
d ₅₀ , мкм	0,06±0,01	0,09±0,01	0,08±0,01	0,07±0,01
d ₉₀ , мкм	0,15±0,02	0,18±0,02	0,26±0,02	0,35±0,02

Как видно из данных, представленных в таблице 4, минимальный медианный диаметр (0,06±0,01) мкм имели частицы ФГКСБ№1, максимальный медианный диаметр частиц (0,09±0,01) мкм был в ФГКСБ№2. Более высокую степень дисперсности имели образцы ФГКСБ№1 и ФГКСБ№2, по сравнению с ФГКСБ3 и ФГКСБ4.

Обсуждение. Ферментативные гидролизаты сывороточных белков имели сходства и различия в использованном сырье и в технологии получения. Образцы ФГКСБ№1 и ФГКСБ2 были получены по одинаковой технологии, но из разного сырья. В результате степень дисперсности ФГКСБ№1 была несколько больше, чем у образца ФГКСБ№2. По-видимому, более крупный размер частиц ФГКСБ№2 является одной из причин появления осадка в его водном растворе.

Больше отличий было выявлено у образцов ФГКСБ№3 и ФГКСБ№4. Первый ферментоллизат получен из концентрата сывороточных белков с содержанием белков 76%, второй из термостабильного микропартикулята – концентрата сывороточных белков с содержанием белков 82%. Для гидролиза этих субстратов использована одинаковая комбинация ферментов Alcalase 2,4 L и Flavourzyme 1000 L, но их соотношение, а также продолжительность процессов отличались. Микроскопирование образцов показало, что ферментоллизаты, полученные комбинированием Alcalase 2,4 L и Flavourzyme 1000 L, были более грубодисперсными, чем образцы ФГКСБ№1 и ФГКСБ№2, гидролизованные ферментами поджелудочной железы сельскохозяйственных животных. Также в водном растворе ФГКСБ№4 наблюдали быстрое появление осадка, что, вероятно, обусловлено досто-

верно большими размерами частиц в нем по сравнению с ФГКСБ№3 (0,35±0,02) и (0,26±0,02) мкм соответственно.

По полученным данным, для растворения исследованных ферментативных гидролизатов с концентрацией 8% приемлемы температуры от 20°C до 40°C. Ускорение растворимости образцов, наблюдаемое при 40°C в сравнении с режимом 20°C, обусловлено увеличением кинетической энергии частиц при переходе из твердой фазы в раствор в результате повышении температуры.

Также установлено, что более высокая степень дисперсности сухих ферментоллизатов коррелировала с показателями вязкости их водных растворов. Преобладание крупнодисперсных частиц в образцах ФГКСБ№3 и ФГКСБ№4 привело к достоверному увеличению вязкости по сравнению с ФГКСБ№1 и ФГКСБ№2.

Закключение. По совокупности органолептических и физико-химических показателей, а также с учетом более высокой степени гидролиза белка, гарантирующей содержание в составе пептидной смеси ди- и трипептидов и снижение антигенности, оптимальным для использования в составе рецептуры специализированного пищевого продукта для энтерального питания по результатам данного исследования может быть признан гидролизат сывороточных белков молока глубокого расщепления (ФГКСБ№2).

Другие исследуемые гидролизаты с учетом полученных результатов также могут быть успешно использованы в составе рецептур специализированных пищевых продуктов, предназначенных, например, для питания спортсменов или в виде дополнительного питания при недостаточном потреблении белка.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The role of nutritional support in the physical and functional recovery of critically ill patients: a narrative review / Bear D.E. [et al.] // *Crit Care*. 2017. Vol. 21, No. 1. P. 226. DOI: 10.1186/s13054-017-1810-2.
2. Van Zanten A.R.H., De Waele E., Wischmeyer P.E. Nutrition therapy and critical illness: practical guidance for the ICU, post-ICU, and long-term convalescence phase // *Crit Care*. 2019. Vol. 23. P. 368. DOI: 10.1186/s13054-019-2657-5.
3. Zandona E., Blažić M., RežekJambrak A. Whey utilization: sustainable uses and environmental approach // *Int J Dairy Technol*. 2021. Vol. 59, No. 2. P. 147-161. DOI: 10.17113/ftb.59.02.21.6968.
4. Antioxidant Properties of Whey Protein-Derived Peptides: Radical Scavenging and Cytoprotective Effects / Suzuki R. [et al.] // *Food Sci Nutr*. 2025. Vol. 13, No. 10. P. e71092. DOI: 10.1002/fsn3.71092.
5. Deep Learning-Driven Optimization of Antihypertensive Properties from Whey Protein Hydrolysates: A Multienzyme Approach / Jiang S. [et al.] // *J Agric Food Chem*. 2025. Vol. 73, No. 2. P. 1373-1388. DOI: 10.1021/acs.jafc.4c10830.
6. Milk Whey Hydrolysates as High Value-Added Natural Polymers: Functional Properties and Applications / León-López A. [et al.] // *Polymers (Basel)*. 2022. Vol. 14, No. 6. P. 1258. DOI: 10.3390/polym14061258.
7. Gastrointestinal tolerance, healthcare resource utilization, and cost analysis of whey peptide-based enteral formula in pediatric post-acute care: A retrospective study / Sankararaman S. [et al.] // *Clin Nutr ESPEN*. 2025. Vol. 70. P. 352-359. DOI: 10.1016/j.clnesp.2025.10.004.
8. Peptide profiles and allergy reactivity of extensive hydrolysates of milk protein / Cui Q. [et al.] // *Food Chem*. 2023. Vol. 411. P. 135544. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135544.
9. Industrial enzymes. In: *Industrial biorefineries & white biotechnology* / Singhania R.R. [et al.] // Elsevier. 2015. P. 473-497. DOI: 10.1016/B978-0-444-63453-5.00015-X.
10. Hasan M.J., Haque P., Rahman M.M. Protease enzyme based cleaner leather processing: a review // *J CleanProd*. 2022. P. 132826. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132826.
11. Protein Hydrolysates and Bioactive Peptides as Mediators of Blood Glucose—A Systematic Review and Meta-Analysis of Acute and Long-Term Studies / Elbira A. [et al.] // *Nutrients*. 2024. Vol. 16. P. 323. DOI: 10.3390/nu16020323.
12. Bioactive peptides and proteins from foods: Indication for health effects / Möller N.P. [et al.] // *Eur. J. Nutr*. 2008. Vol. 47. P. 171-182. DOI:10.1007/s00394-008-0710-2.
13. ESPEN guideline: Clinical nutrition in surgery / Weimann A. [et al.] // *Clin Nutr*. 2017. Vol. 36, No. 3. P. 623-650. DOI: 10.1016/j.clnu.2017.02.013.
14. Partially hydrolyzed cow's milk protein formula with an added prebiotic is well-tolerated, safe, and supports age-appropriate growth in healthy term infants through one year of age: DBRCT / Fabrizio V. [et al.] // *BMC Pediatr*. 2026. P. 41527066. DOI: 10.1186/s12887-025-06454-2.
15. Enteral Infant Formulas: A Narrative Review of Historical Evolution, Nutritional Composition, and Clinical Use in Pediatrics / Martínez-Vázquez J. [et al.] // *Cureus*. 2025. Vol. 17, No. 4. P. e82692. DOI: 10.7759/cureus.82692.
16. Способ производства гидролизата сывороточных белков: патент RU 2005100473 А. Рос. Федерация МПК A23J 1/20, A23J 1/22 / Абрамов Д.В. [и др.]; № 2005100473/13, заявл. 11.01.2005, опубл. 20.06.2006, Бюл. № 17.
17. Способ производства гидролизата сывороточных белков с высокой степенью гидролиза и низкой остаточной антигенностью: патент RU 2529707 С2 Рос. Федерация МПК A23J 1/20 / Мяконосов Д.С. [и др.]; 2012158005/10, заявл. 28.12.2012, опубл. 10.07.2104, Бюл. № 27.
18. ГОСТ 32892-2014 Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности.

19. Specialized food products with immunomodulatory properties: basic component formulation / Novokshanova A.L. [et al.] // *New technologies*. 2025. Vol. 21, No. 4. P. 89-100. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21- 4-89-100.

20. Rawle A. The Basic Principles of Particle Size Analysis // *Coatings Journal*. 2003. Vol. 86, No. 2. P. 58-65.

REFERENCES

1. The role of nutritional support in the physical and functional recovery of critically ill patients: a narrative review / Bear D.E. [et al.] // *Crit Care*. 2017. Vol. 21, No. 1. P. 226. DOI: 10.1186/s13054-017-1810-2.

2. Van Zanten A.R.H., De Waele E., Wischmeyer P.E. Nutrition therapy and critical illness: practical guidance for the ICU, post-ICU, and long-term convalescence phase // *Crit Care*. 2019. Vol. 23. P. 368. DOI: 10.1186/s13054-019-2657-5.

3. Zandona E., Blažić M., RežekJambrak A. Whey utilization: sustainable uses and environmental approach // *Int J Dairy Technol*. 2021. Vol. 59, No. 2. P. 147-161. DOI: 10.17113/ftb. 59. 02. 21. 6968.

4. Antioxidant Properties of Whey Protein-Derived Peptides: Radical Scavenging and Cytoprotective Effects / Suzuki R. [et al.] // *Food Sci Nutr*. 2025. Vol. 13, No. 10. P. e71092. DOI: 10.1002/fsn3.71092.

5. Deep Learning-Driven Optimization of Antihypertensive Properties from Whey Protein Hydrolysates: A Multienzyme Approach / Jiang S. [et al.] // *J Agric Food Chem*. 2025. Vol. 73, No. 2. P. 1373-1388. DOI: 10.1021/acs.jafc.4c10830.

6. Milk Whey Hydrolysates as High Value-Added Natural Polymers: Functional Properties and Applications / León-López A. [et al.] // *Polymers (Basel)*. 2022. Vol. 14, No. 6. P. 1258. DOI: 10.3390/polym14061258.

7. Gastrointestinal tolerance, healthcare resource utilization, and cost analysis of whey peptide-based enteral formula in pediatric post-acute care: A retrospective study / Sankararaman S. [et al.] // *Clin Nutr ESPEN*. 2025. Vol. 70. P. 352-359. DOI: 10.1016/j.clnesp.2025.10.004.

8. Peptide profiles and allergy reactivity of extensive hydrolysates of milk protein / Cui Q. [et al.] // *Food Chem*. 2023. Vol. 411. P. 135544. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135544.

9. Industrial enzymes. In: *Industrial biorefineries & white biotechnology* / Singhania R.R. [et al.] // Elsevier. 2015. P. 473-497. DOI: 10.1016/B978-0-444-63453-5.00015-X.

10. Hasan M.J., Haque P., Rahman M.M. Protease enzyme based cleaner leather processing: a review // *J CleanProd*. 2022. P. 132826. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132826.

11. Protein Hydrolysates and Bioactive Peptides as Mediators of Blood Glucose—A Systematic Review and Meta-Analysis of Acute and Long-Term Studies / Elbira A. [et al.] // *Nutrients*. 2024. Vol. 16. P. 323. DOI: 10.3390/nu16020323.

12. Bioactive peptides and proteins from foods: Indication for health effects / Möller N.P. [et al.] // *Eur. J. Nutr*. 2008. Vol. 47. P. 171-182. DOI:10.1007/s00394-008-0710-2.

13. ESPEN guideline: Clinical nutrition in surgery / Weimann A. [et al.] // *Clin Nutr*. 2017. Vol. 36, No. 3. P. 623-650. DOI: 10.1016/j.clnu.2017.02.013.

14. Partially hydrolyzed cow's milk protein formula with an added prebiotic is well-tolerated, safe, and supports age-appropriate growth in healthy term infants through one year of age: DBRCT / Fabrizio V. [et al.] // *BMC Pediatr*. 2026. P. 41527066. DOI: 10.1186/s12887-025-06454-2.

15. Enteral Infant Formulas: A Narrative Review of Historical Evolution, Nutritional Composition, and Clinical Use in Pediatrics / Martínez-Vázquez J. [et al.] // *Cureus*. 2025. Vol. 17, No. 4. P. e82692. DOI: 10.7759/cureus.82692.

16. Method for producing whey protein hydrolysate: patent RU 2005100473 A. Rus. Federation IPC A23J 1/20, A23J 1/22 / Abramov D.V. [et al.]; No. 2005100473/13, declared 11.01.2005, published 20.06.2006, Bulletin No. 17. [In Russ.]

17. Method for producing whey protein hydrolysate with a high degree of hydrolysis and low residual antigenicity: patent RU 2529707 C2 Rus. Federation IPC A23J 1/20 / Myagkonosov D.S. [et al.]; 2012158005/10, declared 28.12.2012, published 10.07.2104, Bulletin No. 27. [In Russ.]

18. GOST 32892-2014 Milk and dairy products. Method for measuring active acidity. [In Russ.]

19. Specialized food products with immunomodulatory properties: basic component formulation / Novokshanova A.L. [et al] // New technologies. 2025. Vol. 21, No. 4. P. 89-100. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-4-89-100.

20. Rawle A. The Basic Principles of Particle Size Analysis // Coatings Journal. 2003. Vol. 86, No. 2. P. 58-65.

Информация об авторах / Information about the authors

Новокшанова Алла Львовна, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, 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

Бирюлина Надежда Александровна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, 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/0000-0002-4143-9066>, e-mail: biryulina_nadezhda@mail.ru

Абрамов Дмитрий Васильевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслоделию, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова; 152613, Российская Федерация, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8326-1932>, e-mail: d.abramov@fneps.ru

Сидорова Юлия Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, 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/0000-0002-2168-2659>, e-mail: sidorovaulia28@mail.ru

Alla L. Novokshanova, Dr Sci. (Eng.), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Products, Federal Research Centre 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

Nadezhda A. Biryulina, PhD (Biology), Junior Researcher, Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Products, Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety; 109240, the Russian Federation, Moscow, 2/14. Ustinsky proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4143-9066>, e-mail: biryulina_nadezhda@mail.ru

Dmitry V. Abramov, PhD (Biology), Senior Researcher, Head of Biochemical Research in Cheese and Butter Making, All-Russian Research Institute of Butter and Cheese Making – Branch of the V. M. Gorbatov Federal Scientific Centre for Food Systems; 152613, the Russian Federation, Uglich, Krasnoarmeysky Boulevard, 19, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8326-1932> e-mail: d.abramov@fneps.ru

Yuliya S. Sidorova, PhD (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Products, Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety; 109240, the Russian Federation, Moscow, 2/14. Ustinsky proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2168-2659>, e-mail: sidorovaulia28@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Сидорова Юлия Сергеевна, Бирюлина Надежда Александровна – проведение эксперимента.
Новокшанова Алла Львовна, Сидорова Юлия Сергеевна – подбор литературных источников.
Бирюлина Надежда Александровна, Абрамов Дмитрий Васильевич – оформление статьи по требованиям журнала.

Сидорова Юлия Сергеевна, Бирюлина Надежда Александровна, Новокшанова Алла Львовна, Абрамов Дмитрий Васильевич – разработка методики исследования, валидация данных.

Новокшанова Алла Львовна – редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Claimed contribution of the authors

Yulia S. Sidorova, Nadezhda A. Biryulina – conducting the experiment.

Alla L. Novokshanova, Yulia S. Sidorova – selection of literary sources.

Nadezhda A. Biryulina, Dmitry V. Abramov – preparation of the article according to the requirements of the Journal.

Yulia S. Sidorova, Nadezhda A. Biryulina, Alla L. Novokshanova, Dmitry V. Abramov – development of the research methodology, data validation.

Alla L. Novokshanova – editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Поступила в редакцию 20.02.2026

Поступила после рецензирования 26.03.2026

Принята к публикации 30.03.2026

Received 20.02.2026

Revised 26.03.2026

Accepted 30.03.2026