

УДК 664.6:637

Биотехнологические аспекты обогащения хлеба сывороточным белком для повышения его функциональных свойств

О. С. Чеченихина*, В. А. Лазарев

*Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия;

e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
28.05.2025;

получена
после доработки
02.06.2025;

принята
к публикации
02.07.2025

Ключевые слова:

хлебобулочные изделия,
сывороточный белок,
биотехнология
продуктов питания,
органолептические
свойства,
физико-химические
показатели

Для цитирования

Проблема белковой недостаточности в питании, особенно среди детей, и необходимость разработки продуктов с повышенной пищевой ценностью обусловили актуальность работы. Специалистами отмечается растущий спрос населения на функциональные продукты питания, способствующие укреплению здоровья. Проведено исследование по применению сывороточного белка животного происхождения для обогащения хлеба с целью повышения его функциональных свойств. Разработаны рецептуры хлеба с добавлением изолята сывороточного белка на основе муки высшего и первого сортов. Работа реализована в условиях лаборатории технотехнического контроля продуктов питания УрГЭУ (г. Екатеринбург). Проведен сравнительный анализ органолептических и физико-химических показателей опытных и контрольных образцов. Результаты показали, что образцы с сывороточным белком обладают улучшенными вкусовыми характеристиками (сладковатый привкус, сливочный аромат) и соответствуют требованиям нормативных документов по влажности и пористости. При этом добавление белка снижает кислотность хлеба, что делает его более безопасным для лиц с заболеваниями ЖКТ. Физико-химические исследования выявили, что сывороточный белок незначительно уменьшает пористость мякиша, но способствует его равномерной структуре, улучшая усвояемость. Наибольшую влажность (43,6 %) показал образец из муки первого сорта с добавлением белка, это положительно влияет на мягкость продукта. Обогащение хлеба сывороточным белком повышает массовую долю протеина до 13,5 % и улучшает аминокислотный профиль. Подтверждена перспективность использования сывороточного белка в хлебопечении для создания функциональных продуктов. В качестве дальнейших исследований предложено изучение комбинаций белка с пищевыми волокнами и применение технологии в других видах пищевой продукции.

Чеченихина О. С. и др. Биотехнологические аспекты обогащения хлеба сывороточным белком для повышения его функциональных свойств. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 360–370. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-360-370>.

Biotechnological aspects of enriching bread with whey protein to enhance its functional properties

Olga S. Chechenikhina*, Vladimir A. Lazarev

*Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia;

e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Article info

Received
28.05.2025;

received
in revised form
02.06.2025;

accepted
02.07.2025

Key words:

bakery products,
whey protein,
food biotechnology,
organoleptic properties,
physicochemical
parameters

Abstract

The problem of protein deficiency in nutrition, especially among children, and the need to develop products with increased nutritional value determine the relevance of the work. Experts note the growing demand of the population for functional food products that promote health. A study has been conducted on the use of whey protein of animal origin for bread enrichment in order to improve its functional properties. The study has developed bread recipes with the addition of whey protein isolate based on premium and first grade flour. The work was carried out in the laboratory of technochemical control of food products (Ural State University of Economics, Yekaterinburg). A comparative analysis of the organoleptic and physicochemical indicators of the experimental and control samples has been carried out. The results have shown that the samples with whey protein have improved taste characteristics (sweetish taste, creamy aroma) and meet the requirements of regulatory documents for moisture and porosity. At the same time, the addition of protein reduces the acidity of bread, which makes it safer for people with gastrointestinal diseases. Physicochemical studies have shown that whey protein slightly reduces the porosity of the crumb, but contributes to its uniform structure, improving digestibility. The highest moisture content (43.6 %) has been shown by a sample of first-grade flour with added protein, which has a positive effect on the softness of the product. Enrichment of bread with whey protein increases the mass fraction of protein to 13.5 % and improves the amino acid profile. The prospects of using whey protein in baking to create functional products have been confirmed. As further research, it is proposed to study combinations of protein with dietary fiber and apply the technology to other types of food products.

For citation

Chechenikhina, O. S. et al. 2025. Biotechnological aspects of enriching bread with whey protein to enhance its functional properties. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 360–370. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-360-370>.

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, 149 млн детей страдают задержкой роста. Одной из причин этого может являться белковая недостаточность. Белок в нашем организме выполняет следующие функции: энергетическая, каталитическая, защитная, транспортная, строительная, двигательная. Поэтому белок должен присутствовать в рационе питания человека ежедневно (*Мельникова и др., 2022; Бурак и др., 2024; Loprinzi et al., 2020; Delaby et al., 2020; Romano et al., 2022*).

По рекомендациям Роспотребнадзора, для мужчин количество поступающего белка не должно быть ниже 65 г, для женщин – 55 г, для детей – 36 г. Ежедневное поступление белка в достаточном количестве – залог сохранения здоровья и хорошего самочувствия в течение дня. Для этого следует включать в рацион полноценные полезные продукты питания.

Животные белки содержатся в продуктах животного происхождения: мясе, рыбе, морепродуктах, яйцах и молочных продуктах. В них полный набор незаменимых аминокислот, и такое вещество усваивается организмом на 95 %.

Растительные белки содержатся в продуктах растительного происхождения: бобовых, сое, орехах, крупах, овощах. В них, как правило, не хватает нескольких незаменимых аминокислот, и усваивается такой белок только на 65–80 %.

При составлении рациона важно сочетать разные типы белков, чтобы получить все необходимые аминокислоты. Классическая формула: растительные белки должны составлять не более трети от суточного количества протеинов, поступающих с пищей (*Иванчихина, 2023; Исычко и др., 2023*).

Истинный дефицит поступления белков с пищей может развиваться у лиц, длительное время недоедающих, придерживающихся так называемых монодиет или вегетарианства.

Вторичный дефицит белка, связанный с его усиленным распадом, может сопровождать целый ряд заболеваний, например, тяжелые формы инфекционных заболеваний, патологии почек, наследственные нарушения обмена веществ (*Зиямутдинова и др., 2024; Tofaris et al., 2002; Azoulay et al., 2019*).

Белки являются основным строительным материалом организма, поэтому даже легкие формы белковой недостаточности, внешне протекающие бессимптомно, влияют на способность противостоять инфекции или на скорость заживления ран, замедляют рост ногтей и волос, вызывают сухость кожи.

Тяжелая белковая недостаточность может нарушить нормальную работу всех органов и систем. Особенно опасен дефицит белка в детском возрасте, так как он способен повлиять на развитие умственных способностей, формирование мышц, замедлить рост и развитие организма (*Муханова, 2022*).

Белково-энергетическая недостаточность (БЭН) – это патологическое состояние, которое характеризуется дефицитом нутриентов, энергии и негативно влияет на работу всех систем организма.

Основные признаки БЭН: главное проявление – быстрая потеря массы больше 10 % от исходного значения; уменьшается толщина подкожно-жировой клетчатки, ребра и тазовые кости хорошо контурируются; постепенно происходит атрофия мышц; кожа становится бледной и холодной на ощупь, иногда появляются коричневые пигментные пятна; на поздней стадии формируются отеки; волосы ломкие и тусклые, наблюдается диффузная алопеция; нарастают слабость, апатия. Иногда вследствие упадка сил человек даже не может подняться с постели (*Фоменко, 2021*).

Некоторые заболевания и состояния, связанные с недостатком белка в организме человека:

- замедление роста и развития – особенно опасно в детском возрасте, так как влияет на умственное развитие, замедляет рост и нарушает формирование мышц;
- изменения в печени – также могут возникать у взрослых;
- ослабление умственной деятельности;
- снижение работоспособности и сопротивляемости к инфекционным заболеваниям;
- отеки – из-за снижения онкотического давления крови, создаваемого белками;
- ослабление иммунитета – раны долго не заживают, отмечаются частые инфекционные заболевания;
- анемия – также может появляться нарушение работы сердца и легких (сердцебиение становится слабым, дыхание поверхностным).

Среди причин белковой недостаточности – голодание, атрофические и воспалительные заболевания желудка и кишечника, инсульты, психические заболевания (в том числе анорексии). Также к белковой недостаточности приводит повышение потребности в белке для восполнения энергетических затрат и восстановления погибших клеток, нарушение синтеза белка. Особенно опасен дефицит белка в детском возрасте. Он влияет на умственное развитие, замедляет рост, нарушает формирование мышц (*Троцюк и др., 2020; Мударисов, 2021*).

Таким образом, недостаток белка в организме человека приводит к тяжелым последствиям. Данный вопрос требует постоянного контроля над рационом и грамотного выбора продуктов питания.

Традиционно наибольшую долю в производстве продуктов питания занимают хлеб и хлебобулочные изделия. По данным *Н. Н. Данько (2023)*, в России 10 тыс. хлебозаводов ежедневно изготавливают 50 тыс. т хлеба. Для сохранения здоровья населения перед специалистами стоит задача увеличения пищевой и биологической ценности продуктов питания.

Хлеб является полезной частью сбалансированного рациона, так как содержит углеводы, клетчатку, аминокислоты и др. При этом в хлебе невысокое содержание белков животного происхождения, в том числе незаменимых аминокислот. Следовательно, обогащение хлеба белком является актуальным направлением исследований.

Одним из главных вопросов, который стоит перед работниками пищевого производства, является обеспечение продуктов питания полноценным белком, обладающим высокими функциональными характеристиками и содержащим необходимые человеку незаменимые аминокислоты (*Мештель и др., 2022*).

Сывороточный белок характеризуется рядом преимуществ для здоровья. Во-первых, он ускоряет метаболизм и способствует снижению веса. Во-вторых, содержит незаменимые аминокислоты – лейцин, валин, изолейцин, необходимые для роста мышечной ткани. Регулярный прием сывороточного белка предотвращает потерю мышечной массы. В-третьих, повышает уровень глутатиона, природного антиоксиданта, защищающего организм от повреждений. Исследования показывают, что сывороточный белок может быть полезен в борьбе с онкологическими заболеваниями и диабетом второго типа. Кроме того, он снижает уровень "плохого" холестерина, укрепляет иммунитет, нормализует артериальное давление, повышает энергию и выносливость, облегчает восстановление после физических нагрузок. Сывороточный белок отличается высокой скоростью усвоения, что делает его ценным источником белка для организма (*Алиновская и др., 2022; Ивкова и др., 2022*).

Молочная сыворотка находит широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности. Ее функциональные свойства, такие как улучшение взбиваемости и связывание жидкости, делают ее ценным ингредиентом. Кроме того, сыворотка может использоваться в качестве заменителя куриных белков и желтков, а также для обогащения состава молочных продуктов. Сфера применения молочной сыворотки охватывает кондитерское производство (изготовление различных изделий – печенье, вафли и пр.); производство цельномолочных продуктов (обогащение состава молока, творога, сгущенного молока и других продуктов); пивоварение (использование в качестве добавки); производство сыров (создание плавленых и глазированных сырков) (*Шерстнева, 2019*).

Учеными в ходе исследования были разработаны новые рецептуры сметаны с использованием концентрата сывороточных белков (КСБ-УФ). Применение КСБ-УФ в составе сметаны позволяет повысить ее биологическую ценность за счет увеличения содержания сывороточных белков, являющихся основным компонентом продукта. К ключевым результатам исследования относится определение оптимального содержания КСБ-УФ в составе сметаны с низким содержанием жира (10 %) на основе комплексного анализа органолептических и физико-химических показателей готового продукта. Авторы разъяснили механизм структурирования кисломолочных сгустков при присутствии сывороточных белков.

Исследования подтверждают, что белковый концентрат, эффективно удерживая воду, оказывает влияние на активность молочнокислых бактерий, что позволяет контролировать кислотность обезжиренной сметаны. Применение КСБ-УФ способствует формированию нежного и влажного сгустка, лишённого синерезиса. Для достижения уровня кислотности сквашенных сливок с концентратом сывороточных белков не менее 60 °С рекомендуется увеличить время сквашивания до 1,5 ч по сравнению со сквашиванием сливок без добавления концентрата (*Варивода, 2020*).

Также молочная сыворотка активно используется при производстве мясных продуктов. Например, натуральная молочная сыворотка используется вместо воды при производстве вареных колбас. Разработаны рецептуры и технологии для паштетов (содержащих 25 % молочного пищевого альбумина) и сосисок (с добавлением 5,5 % концентрата молочной сыворотки). Установлена целесообразность применения концентратов сывороточных белков в качестве замены сухого молока при изготовлении фаршевых мясных продуктов. Такая замена способствует улучшению биологических и вкусовых свойств продукции мясопереработки, оптимизации использования дефицитного сырья и снижению себестоимости производства (*Волкова, 2021, 2022; Савинкова, 2023*).

В пищевой индустрии в настоящее время разработаны и совершенствуются рецептуры напитков с применением белка животного происхождения. Так, специалистами создан инновационный комплексный продукт функционального назначения для атлетов и людей, ведущих активный образ жизни. Разработана рецептура изотонического напитка, обогащенного изолятом сывороточного белка и витаминным премиксом, который способен восполнять отсутствие в организме необходимых веществ для нормального его функционирования (*Лазарев, 2024*).

Исследования специалистов показали, что обогащение хлебобулочных изделий белками животного происхождения приводит к эффективным результатам.

Обогащение хлеба сывороточными белками позволяет оптимизировать биологическую и пищевую ценность продукта. Использование сывороточных продуктов в хлебопечении приводит к улучшению цвета хлебной корочки, появлению приятного молочного привкуса и аромата в готовом изделии, увеличению удельного объема хлеба, замедлению черствения (*Бушкарева и др., 2019*).

Следовательно, применение белка животного происхождения (сывороточный белок) при производстве функциональных продуктов питания, в числе которых хлеб и хлебобулочные изделия, является перспективным направлением исследований.

Цель исследований – оценить органолептические и физико-химические показатели качества хлеба функционального назначения с применением белка животного происхождения.

В задачи исследований входило:

- 1) разработать рецептуру хлеба функционального назначения с добавлением белка животного происхождения;
- 2) проанализировать органолептические свойства готового продукта;
- 3) оценить физико-химические показатели готового продукта.

Материалы и методы

Разработка технологии производства и рецептуры хлеба функционального назначения осуществлялась на основании изучения имеющихся аналогов и научных исследований авторов. Работа реализована в условиях лаборатории технохимического контроля продуктов питания Уральского государственного экономического университета (УрГЭУ) (г. Екатеринбург).

Рецептуры хлеба разрабатывались с применением метода поверхности отклика (RSM) для оптимизации содержания изолята сывороточного белка (5–15 %) и влажности теста (40–50 %). Использовался центральный композиционный дизайн с последующей статистической обработкой данных в программе Statistica 10.0. Критериями оптимизации были: пористость мякиша (≥ 75 %), кислотность ($\leq 3,0$ град), органолептическая оценка ($\geq 4,5$ балла).

Анализ органолептических и физико-химических свойств готового продукта проводился в соответствии с ГОСТ Р 58233-2018 "Хлеб из пшеничной муки. Технические условия"¹ на базе лаборатории технохимического контроля УрГЭУ.

Органолептические показатели образцов хлеба анализировались на основании результатов дегустационной оценки. Оценка проводилась по балльной шкале (максимальный балл 40) путем сравнения показателей (внешний вид, состояние мякиша, вкус и запах) с нормами ГОСТ 5667-65 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий"².

В оценки принимали участие 11 независимых дегустаторов.

Кроме того, в работе использованы методы оценки, описанные в следующих нормативных документах:

- ГОСТ 5669 "Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости"³;
- ГОСТ 5670 "Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности"⁴;
- ГОСТ 21094 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности"⁵.

Рекомендуемые рецептура и технология производства функционального хлеба с использованием белка животного происхождения предложены, опираясь на оценку показателей качества готовых образцов продукта.

Проведен анализ содержания белка в контрольных и опытных образцах хлеба методом Кьельдаля (ГОСТ 31640-2012 "Корма. Методы определения содержания сухого вещества"⁶). Аминокислотный профиль определяли методом ВЭЖХ (ГОСТ 32195-2013 "Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот"⁷).

Результаты и обсуждение

Прежде чем приступить к подбору сырья для производства образцов функционального хлеба, разработке рецептуры и технологии их производства, проанализированы аналогичные продукты, реализуемые в торговых сетях (табл. 1).

¹ ГОСТ Р 58233-2018. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/69913/?ysclid=mbf0vmu48d517271417>.

² ГОСТ 5667-65. Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022321?ysclid=mbf0tbnbbq140991476>.

³ ГОСТ 5669. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4217/?ysclid=mbf0u6a4x3696911060>.

⁴ ГОСТ 5670. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4080/?ysclid=mbf0ux75o5485847593>.

⁵ ГОСТ 21094. Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78939/?ysclid=mbf0oyesr5992622187>.

⁶ ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52337/?ysclid=mbf0r0xm49567449873>.

⁷ ГОСТ 32195-2013. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293773/4293773804.pdf?ysclid=mbf0sie84c45761649>.

Таблица 1. Анализ существующих аналогов функционального хлеба
Table 1. Analysis of existing analogues of functional bread

Наименование	Показатель				
	дрожжевой/ бездрожжевой	функциональный компонент	количество белка в 100 г продукта, г	стоимость за 100 г, руб.	оценка потребителей
Хлеб "Пшеничный очищающий, цельнозерновой"	бездрожжевой	пророщенная пшеница, семена тыквы	7,5	37,0	4,7
Хлеб "Польза семечек"	бездрожжевой	семена тыквы, семена льна	8,5	26,3	4,7
Хлеб "Жизньмарт Фландрийский пшеничный"	дрожжевой	греча, сухое молоко	7,1	30,6	9,4
Хлеб "Протеиновый"	дрожжевой	семена киноа, семена чиа	14,6	нет информации	нет информации
Хлеб пшеничный на закваске "Здрава"	на закваске	семена подсолнечника, мед	7,0	23,7	нет отзывов
Хлеб на сыворотке	пшеничная закваска	патока карамельная, сыворотка	8,2	250,0	4,5
Хлеб "СН-Торг Фитнес"	дрожжевой	семена льна, семена подсолнечника	8,3	16,8	5,0

По результатам оценки установлено, что сорта хлеба, заявленные производителями в качестве функциональных, имеют как дрожжевую, так и бездрожжевую основу и приготовлены на закваске.

В качестве функционального компонента в составе сырья указаны такие пищевкусные добавки как пророщенная пшеница, семена тыквы, киноа, чиа, подсолнечника, льна, мед, карамельная патока. Среди белков животного происхождения представлена лишь сыворотка в хлебе "Хлеб на сыворотке". Данный продукт оказался самой высокой ценовой категории из представленных – 250 руб. за 100 г. Оценка потребителей этого хлеба оказалась ниже по сравнению с другими хлебами и составила 4,5 балла (звезды) из 5,0 возможных. Самое высокое содержание белка в оцениваемых аналогах отмечено на маркировке "Хлеб протеиновый" – 14,6 г в 100 г продукта, самое низкое (7,0 г/100 г) – в хлебе на пшеничной закваске "Здрава".

Следовательно, хлеб с добавлением белка животного происхождения слабо представлен на рынке функциональных продуктов, а существующие сорта обладают высокой стоимостью и низкой оценкой потребителей. Имеется необходимость разработки оптимальной рецептуры хлеба с добавлением животного белка, который будет высоко оценен потенциальными потребителями по основным органолептическим показателям.

Сырьем для производства образцов хлеба послужили мука пшеничная (высший и первый сорта), дрожжи, соль, вода и изолят сывороточного белка. Установлено (табл. 2), что наибольшая пористость (82 %) достигнута при 10 % белка и 45 % влажности, однако разница с 8 % белка статистически незначима ($p > 0,05$). Кислотность $\leq 3,0$ град сохраняется при 8–15 % белка.

Таблица 2. Оптимизация рецептуры хлеба
Table 2. Optimization of bread recipe

Номер опыта	Белок (%)	Влажность (%)	Пористость (%)	Кислотность (град)	Органолептика (балл)
1	5	40	75	3,2	4,3
2	8	40	78	3,0	4,5
3	15	40	68	2,8	4,1
4	5	50	78	3,5	4,5
5	8	50	74	3,3	4,4
6	15	50	70	3,0	4,2
7	10	45	80	2,9	4,7
8	10	45	82	2,8	4,6

Рецептура, представленная в табл. 3, рассчитана в соответствии с нормативными документами по производству пшеничного хлеба и позволяет разработать соответствующие этапы производства:

1. Подготовка сырья. Просеивали муку, дрожжи растворяли в теплой воде. Солевой раствор готовили отдельно. Раствор изолята сывороточного белка приготовили для замеса, предварительно отмерив необходимое количество.

2. Замешивание теста. Подготовленное сырье замешивали в специальных емкостях для замеса до густой консистенции.

3. Отлёжка. На протяжении 2 ч замес теста находился в духовом шкафу при температуре 35 °С. Затем тесто еще раз тщательно перемешали.

4. Обминка. Обработка дрожжевого теста с целью удаления газов для укрепления клейковины теста.

5. Формование. Разделили тесто на порционные куски. Вручную формировали тесто так, чтобы получился шар. Порционные куски укладывали в специальные формы для выпекания, предварительно смазанные растительным маслом.

6. Расстойка. Выдержка в течение 50 мин дрожжевых тестовых заготовок после процесса формования для увеличения объема и улучшения структуры полуфабрикатов.

7. Выпечка. Осуществляли в специальных печах в течение 50 мин при температуре 180 °С.

8. Подготовка к оценке качества. Остывание хлеба в течение 40 мин.

Таблица 3. Рецептúra образцов пшеничного хлеба функционального назначения, обогащенного белком животного происхождения

Table 3. Formulation of functional wheat bread samples enriched with animal protein

Номер образца	Сырье					
	Мука пшеничная высшего сорта, г	Мука пшеничная первого сорта, г	Дрожжи, г	Соль, г	Вода, мл	Изолят сывороточного белка, г
Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	300,0	–	7,0	3,9	213,0	–
Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	276,0	–	7,0	3,9	213,0	24,0
Образец 3 контрольный, мука первого сорта	–	300,0	7,0	3,9	213,0	–
Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка	–	276,0	7,0	3,9	213,0	24,0

Для оценки органолептических показателей готовых образцов хлеба с добавлением животного белка создана комиссия независимых экспертов в составе 7 человек. Результаты дегустационной оценки показали (табл. 4), что образцы, приготовленные без использования изолята сывороточного белка, экспертами оценены выше по общей сумме баллов за все показатели. Разница с опытными образцами составила в среднем 1,3 балла.

Таблица 4. Результаты дегустационной оценки образцов готового продукта, балл

Table 4. Results of the tasting evaluation of the samples of the finished product, score

Номер образца	Показатель оценки								Общая оценка
	Внешний вид			Состояние мякиша			Вкус	Запах	
	форма	поверхность	цвет	пропеченность	промес	пористость			
Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	4,9	4,6	4,7	4,7	5,0	4,9	4,5	4,9	38,0
Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	4,5	4,9	4,6	4,9	4,7	4,3	4,7	4,6	36,6
Образец 3 контрольный, мука первого сорта	4,7	4,9	4,6	4,9	4,7	4,9	4,2	4,3	37,0
Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка	4,4	4,6	4,9	4,6	4,9	3,9	4,6	4,4	35,9

У образца из пшеничной муки высшего сорта с изолятом сывороточного белка оценка была снижена за форму, цвет, промес и пористость мякиша; у образца из муки первого сорта – за форму, поверхность и уровень пропеченности мякиша.

Следует отметить, что образцы с добавлением изолята сывороточного белка имели выше оценки экспертов за вкус (в среднем на 0,3 балла). Вкус данных образцов был более сладковатый, запах – немного сливочный.

Таким образом, все приготовленные образцы по органолептическим показателям соответствовали ГОСТ Р 58233-2018 "Хлеб из пшеничной муки. Технические условия"⁸.

Перед выпеканием хлеба определили влажность теста (рис.). Установлено, что тесто контрольного образца из муки первого сорта имеет влажность на 2,8 % выше по сравнению с контрольным образцом теста из муки высшего сорта. При этом разница во влажности теста между опытными образцами составила 1 % (данный показатель выше в образце теста из муки высшего сорта).

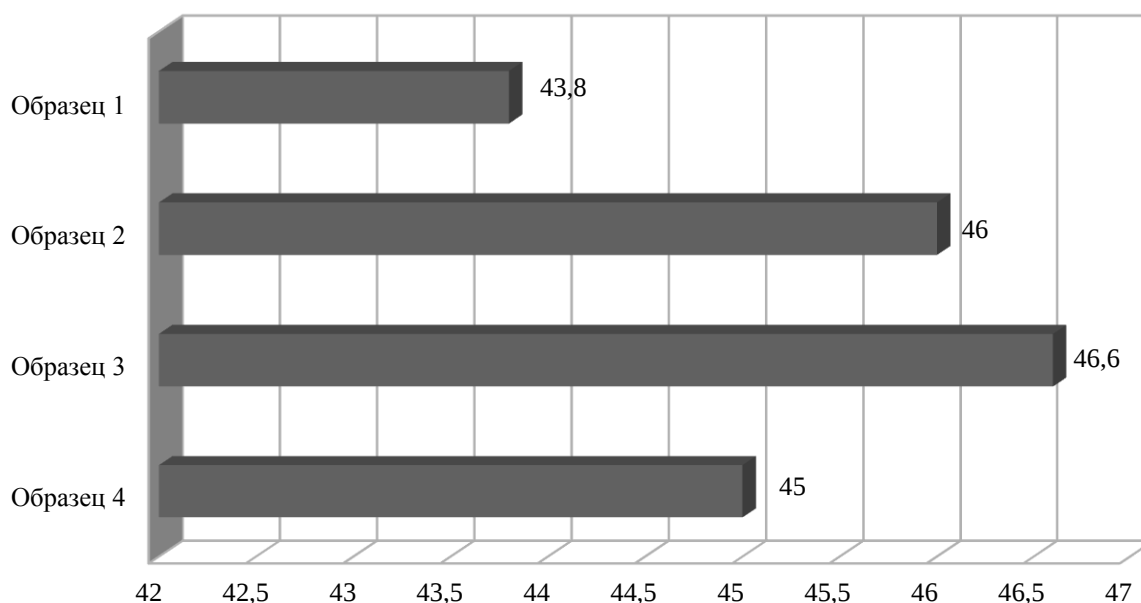


Рис. Влажность теста, %
Fig. Dough moisture, %

Оценка физико-химических показателей образцов готового продукта проводилась по следующим параметрам мякиша: пористость, влажность, кислотность (табл. 5).

Таблица 5. Физико-химические показатели образцов готового продукта
Table 5. Physical and chemical parameters of the samples of the finished product

Показатель	Образец			
	Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	Образец 3 контрольный, мука первого сорта	Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка
Пористость мякиша, %	80,4	75,8	80,4	77,7
Влажность мякиша, %	42,8	42,4	43,4	43,6
Кислотность мякиша, град	3,6	2,8	3,8	3,0

Пористость мякиша хлеба характеризует его усвояемость. Данный показатель в контрольных образцах имел одинаковые значения (80,4 %). При этом пористость мякиша опытных образцов в среднем на 3,7 % меньше по сравнению с контрольными. Следовательно, изолят сывороточного белка несколько снижает пористость мякиша готового продукта. Вместе с тем данный показатель во всех образцах соответствовал нормативным значениям, указанным в ГОСТ.

⁸ ГОСТ Р 58233-2018. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/69913/?ysclid=mfb0vmu48d517271417>.

Влажность мякиша у образцов, приготовленных из муки высшего сорта, в среднем на 0,9 % ниже, чем из муки первого сорта. Данный показатель во всех образцах соответствовал нормативным значениям, указанным в ГОСТ. При этом чем выше влажность хлеба, тем он мягче и свежее, а также имеет меньшую калорийность. Следует отметить, что образец 4, приготовленный из муки первого сорта с применением изолята сывороточного белка, имел наибольшую влажность (43,6 %).

Установлено, что изолят сывороточного белка в рецептуре хлеба способствовал снижению кислотности готового продукта. Опытные образцы имели кислотность в среднем 2,9 град, что соответствует нормативным значениям, указанным в ГОСТ (не более 3 град).

Установлено (табл. 6), что добавление изолята сывороточного белка увеличило содержание белка в хлебе на 55 % (для муки высшего сорта) и 48 % (для первого сорта).

Таблица 6. Массовая доля белка в образцах хлеба
Table 6. Mass fraction of protein in bread samples

Номер образца	Массовая доля белка (% на сухое вещество)
Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	8,2 ± 0,3
Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	12,7 ± 0,4
Образец 3 контрольный, мука первого сорта	9,1 ± 0,2
Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка	13,5 ± 0,5

Уровень белка в опытных образцах соответствует рекомендациям ВОЗ для функциональных продуктов (≥ 12 %).

Образцы с сывороточным белком содержат в среднем в 2 раза больше незаменимых аминокислот, особенно лейцина и лизина, что критично для мышечного синтеза и иммунитета (табл. 7).

Таблица 7. Содержание незаменимых аминокислот (мг/100 г продукта)
Table 7. Essential amino acid content (mg/100 g of product)

Аминокислота	Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	Образец 3 контрольный, мука первого сорта	Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка
Лизин	210 ± 15	420 ± 20	230 ± 15	450 ± 20
Лейцин	380 ± 18	780 ± 25	400 ± 18	800 ± 25
Валин	290 ± 12	610 ± 22	310 ± 12	630 ± 22
Изолейцин	250 ± 10	520 ± 18	270 ± 10	540 ± 18
Метионин + Цистеин	180 ± 8	350 ± 15	190 ± 8	370 ± 15

Данные по образцам хлеба из муки первого сорта соответствуют тенденции, выявленной для образцов из муки высшего сорта, что подтверждает универсальность эффекта обогащения сывороточным белком. Результаты подчеркивают потенциал использования сывороточного белка для улучшения аминокислотного профиля хлеба, особенно для групп населения с повышенной потребностью в белке (дети, спортсмены).

Опытные образцы с применением белка животного происхождения имели достаточно разрыхленный мякиш с равномерной мелкой тонкостенной пористостью, поэтому лучше будут пропитываться пищеварительными соками и полнее усваиваться организмом. Образцы хлеба с добавлением изолята сывороточного белка соответствовали показателям, указанным в нормативных документах, по уровню кислотности, а образцы без добавления белка – превышали норму в среднем на 0,7 град. Употребление хлеба с повышенной кислотностью может повысить процессы брожения в органах пищеварения и вызвать обострения у лиц, страдающих желудочно-кишечными заболеваниями. По показателю пористости мякиша и его влажности все образцы хлеба соответствовали ГОСТ.

Заключение

Анализ аналогичных образцов функционального хлеба показал, что продукты с добавлением белка животного происхождения слабо представлены на рынке, а существующие сорта обладают высокой стоимостью и низкой оценкой потребителей. Следовательно, имеется необходимость разработки рецептуры и технологии производства нового продукта, отвечающего запросам потенциальных потребителей

по основным показателям качества. Сырьем для производства нового продукта послужили мука пшеничная разных сортов, дрожжи, соль, вода и изолят сывороточного белка, что позволило создать образцы хлеба, требующие оценки органолептических и физико-химических показателей.

Все приготовленные образцы пшеничного хлеба по органолептическим показателям соответствовали ГОСТ Р 58233-2018 "Хлеб из пшеничной муки. Технические условия". Хлеб с добавлением изолята сывороточного белка имел выше оценки экспертов за вкус (в среднем на 0,3 балла) и запах (в среднем на 0,2 балла). Вкус данных образцов был более сладковатый, запах – немного сливочный.

Физико-химические характеристики исследуемых образцов свидетельствовали о том, что изолят сывороточного белка несколько снижает пористость мякиша готового продукта. Опытные образцы имели достаточно разрыхленный мякиш с равномерной мелкой тонкостенной пористостью, следовательно, будут хорошо пропитываться пищеварительными соками и полнее усваиваться организмом. Опытные образцы с применением изолята сывороточного белка по уровню кислотности соответствовали показателям ГОСТ, а образцы без добавления белка – превышали норму в среднем на 0,7 град. Употребление хлеба с повышенной кислотностью может повысить процессы брожения в органах пищеварения и вызвать обострения у лиц, страдающих желудочно-кишечными заболеваниями.

Химический анализ подтвердил, что обогащение хлеба сывороточным белком повышает массовую долю протеина до 13,5 % и улучшает аминокислотный профиль. Это делает продукт ценным источником незаменимых аминокислот, особенно для групп с повышенной потребностью в белке (дети, спортсмены).

В качестве перспектив работы следует обозначить:

- повышение функциональных характеристик хлеба с добавлением изолята сывороточного белка путем увеличения доли пищевых волокон (семена льна, морковь и пр.);
- проведение исследований по применению белка животного происхождения при производстве других видов продуктов функционального назначения (напитки на растительной основе).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алиновская Е. С., Молчатский С. Л. Кирпичики здоровья человека – казеин и сывороточные белки // Цифровая наука. 2022. № 11. С. 26–34. EDN: CLVJVD.
- Бурак Л. Ч., Егорова З. Е., Саманкова Н. В. Альтернативные источники белка и современные методы его извлечения: обзор предметного поля // Sciences of Europe. 2024. № 150. С. 10–23. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926294>. EDN: EZAIPQ.
- Бушкарева А. С., Зубарева Т. Г. Обогащение хлебобулочных изделий белками растительного и животного происхождения // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 4(48). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2019.48.4.012>. EDN: CUXTIE.
- Варивода А. А. Использование концентрата сывороточных белков в качестве стабилизатора структуры при производстве продуктов питания // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.011>. EDN: JMWPNR.
- Волкова Т. А. Использование концентратов сывороточных белков при производстве мясных продуктов // Мясные технологии. 2022. № 8(236). С. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2022-08-32-34>. EDN: IJREKS.
- Волкова Т. А. Использование молочной сыворотки в производстве мясных продуктов // Мясные технологии. 2021. № 7(223). С. 18–20. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2021-07-18-20>. EDN: WZSSOF.
- Данько Н. Н. Анализ российского рынка хлеба и хлебобулочных изделий // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 12–1(106). С. 54–57. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57. EDN: NCHWAM.
- Зиямутдинова З. К., Цой М. Е., Мирсадикова М. М. Вторичный иммунодефицит на фоне белковой недостаточности // Интернаука. 2024. № 15–1(332). С. 60–63. EDN: GOJVHO.
- Иванчихина О. В. Значение белка в профилактике и лечении заболеваний // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2023. № 2. С. 59–62. EDN: CHAXOV.
- Ивкова И. А., Тесля Е. А. Функциональные свойства и пищевая ценность сывороточных белков // Переработка молока. 2022. № 7(273). С. 54–55. EDN: SWBKND.
- Исычко В. Е., Ковтун Р. И., Шарбатов В. А. Веганство в спорте: анализ эффективности растительного белка для мышечного роста // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2023. № 2. С. 351–353. EDN: XQOKKN.
- Лазарев В. А. Разработка изотонического напитка, обогащенного изолятом сывороточного белка и витаминным премиксом // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12, № 3. С. 31–40. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240304>. EDN: PFBABU.

- Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б. Перспективные сывороточные ингредиенты для пищевой промышленности // *Переработка молока*. 2022. № 11(277). С. 12–14. DOI: <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2022-11-12-14>. EDN: JEAYGU.
- Мештель А. В., Рыбакова П. Д. Действительно ли растительный белок хуже животного? Повествовательный обзор // *Спортивно-педагогическое образование*. 2022. № 1. С. 56–60. EDN: CUARVO.
- Мударисов Т. Практика отказа от белков животного происхождения // *Комбикорма*. 2021. № 4. С. 8–10. EDN: RVUJLI.
- Муханова Е. П. Продукты животного происхождения в питании человека // *Проблемы научной мысли*. 2022. Т. 1, № 8. С. 3–7. EDN: GXIWEEK.
- Савинкова Е. А. Изменение функционально-технологических свойств бескостного полуфабриката под влиянием пищевой добавки // *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2023. Т. 9, № 2(34). С. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-184-189>. EDN: ORZGYE.
- Троцюк Д. В., Медведев Д. С., Макаренко С. В., Юшкова И. Д. [и др.]. Белково-энергетическая недостаточность у лиц пожилого и старческого возраста // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. № 2. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.29629>. EDN: VUIVRH.
- Фоменко И. А. Белковая недостаточность в питании человека // *Евразийское Научное Объединение*. 2021. № 7–1(77). С. 52–53. EDN: IRMEWS.
- Шерстнева В. С. Использование молочной сыворотки в пищевой промышленности // *Молодежь и наука*. 2019. № 10–11. С. 44. EDN: VQKQKC.
- Azoulay D., Giryès S., Nasser R., Sharon R. [et al.]. Prediction of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in patients with lymphoma and myeloma: The roles of brain-derived neurotropic factor protein levels and A gene polymorphism // *Journal of Clinical Neurology*. 2019. Vol. 15, Iss. 4. P. 511–516. DOI: <https://doi.org/10.3988/jcn.2019.15.4.511>.
- Delaby C., Alcolea D., Carmona-Iragui M., Illán-Gala I. [et al.]. Differential levels of neurofilament light protein in cerebrospinal fluid in patients with a wide range of neurodegenerative disorders. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article number: 9161. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66090-x>.
- Loprinzi C. L., Lacchetti C., Bleeker J., Cavaletti G. [et al.]. Prevention and management of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in survivors of adult cancers: ASCO Guideline Update // *Journal of Clinical Oncology*. 2020. Vol. 38, N 28. P. 3325–3348. DOI: <https://doi.org/10.1200/JCO.20.01399>.
- Romano R., Del Fiore V. S., Bucci C. Role of the intermediate filament protein peripherin in health and disease // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, Iss. 23. Article number: 15416. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232315416>.
- Tofaris G. K., Patterson P. H., Jessen K. R., Mirsky R. Denervated Schwann cells attract macrophages by secretion of leukemia inhibitory factor (LIF) and monocyte chemoattractant protein-1 in a process regulated by interleukin-6 and LIF. *Journal of Neuroscience*. 2002. Vol. 22, Iss. 15. P. 6696–6703. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-15-06696.2002>.

References

- Alinovskaya, E. S., Molchatsky, S. L. 2022. Bricks of human health – casein and whey proteins. *Tsifrovaya nauka*, 11, pp. 26–34. EDN: CLVJVD. (In Russ.)
- Burak, L. Ch., Egorova, Z. E., Samankova, N. V. 2024. Alternative protein sources and modern methods of its extraction: A review of the subject field. *Sciences of Europe*, 150, pp. 10–23. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926294>. EDN: EZAIPQ. (In Russ.)
- Bushkareva, A. S., Zubareva, T. G. 2019. Enrichment of bakery products with proteins of plant and animal origin. *Bulletin of the Upper Volga AIC*, 4(48), pp. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2019.48.4.012>. EDN: CUXTIE. (In Russ.)
- Varivoda, A. A. 2020. The use of whey protein concentrate as a structure stabilizer in food production. *Polzunovskiy vestnik*, 2, pp. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.011>. EDN: JMWPNR. (In Russ.)
- Volkova, T. A. 2022. The use of whey protein concentrates in meat production. *Meat Technology Magazine*, 8(236), pp. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2022-08-32-34>. EDN: IJREKS. (In Russ.)
- Volkova, T. A. 2021. The use of whey in meat production. *Myasnye Tekhnologii*, 7(223), pp. 18–20. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2021-07-18-20>. EDN: WZSSOF. (In Russ.)
- Danko, N. N. 2023. Analysis of the Russian bread and bakery market. *Economy and Business: Theory and Practice*, 12–1(106), pp. 54–57. DOI: [10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57](https://doi.org/10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57). EDN: NCHWAM. (In Russ.)
- Ziyamutdinova, Z. K., Tsoi, M. E., Mirsadikova, M. M. 2024. Secondary immunodeficiency due to protein deficiency. *Internauka*, 15–1(332), pp. 60–63. EDN: GOJVHO. (In Russ.)
- Ivanchikhina, O. V. 2023. The importance of protein in the prevention and treatment of diseases. *Medicine. Sociology. Philosophy. Applied Research*, 2, pp. 59–62. EDN: CHAXOV. (In Russ.)

- Ivkova, I. A., Teslya, E. A. 2022. Functional properties and nutritional value of whey proteins. *Pererabotka moloka*, 7(273), pp. 54–55. EDN: SWBKND. (In Russ.)
- Isycho, V. E., Kovtun, R. I., Sharbatov, V. A. 2023. Veganism in sports: Analysis of the effectiveness of plant protein for muscle growth. *Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin)*, 2, pp. 351–353. EDN: XQOKKN. (In Russ.)
- Lazarev, V. A. 2024. Development of an isotonic drink enriched with whey protein isolate and vitamin premix. *Bulletin of the South Ural State University Series Food and Biotechnology*, 12(3), pp. 31–40. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240304>. EDN PFBABU. (In Russ.)
- Melnikova, E. I., Stanislavskaya, E. B. 2022. Promising whey ingredients for the food industry. *Milk Branch Magazine*, 11(277), pp. 12–14. DOI: <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2022-11-12-14>. EDN: JEAYGU. (In Russ.)
- Meshtel, A. V., Rybakova, P. D. 2022. Is plant protein really worse than animal protein? A narrative review. *Sports and Pedagogical Education*, 1, pp. 56–60. EDN: CUARVO. (In Russ.)
- Mudarisov, T. 2021. The practice of abandoning animal proteins. *Kombikorma*, 4, pp. 8–10. EDN: RVUJLI. (In Russ.)
- Mukhanova, E. P. 2022. Animal products in human nutrition. *Problemy Nauchnoi Mysli*, 1(8), pp. 3–7. EDN: GXIWEK. (In Russ.)
- Savinkova, E. A. 2023. Changes in the functional and technological properties of boneless semi-finished products under the influence of a food additive. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*, 9(2(34)), pp. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-184-189>. EDN: ORZGYE. (In Russ.)
- Trotsyuk, D. V., Medvedev, D. S., Makarenko, S. V. et al. 2020. Protein-energy deficiency in elderly and senile individuals. *Modern Problems of Science and Education*, 2. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.29629>. EDN: VUIVRH. (In Russ.)
- Fomenko, I. A. 2021. Protein deficiency in human nutrition. *Evrasiiskoe Nauchnoe Ob'edinenie*, 7–1(77), pp. 52–53. EDN: IRMEWS. (In Russ.)
- Sherstneva, V. S. 2019. The use of whey in the food industry. *Molodezh' i Nauka*, 10–11, pp. 44. EDN: VQQKQC. (In Russ.)
- Azoulay, D., Giryas, S., Nasser, R., Sharon, R. et al. 2019. Prediction of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in patients with lymphoma and myeloma: The roles of brain-derived neurotrophic factor protein levels and A gene polymorphism. *Journal of Clinical Neurology*, 15(4), pp. 511–516. DOI: <https://doi.org/10.3988/jcn.2019.15.4.511>.
- Delaby, C., Alcolea, D., Carmona-Iragui, M., Illán-Gala, I. et al. 2020. Differential levels of neurofilament light protein in cerebrospinal fluid in patients with a wide range of neurodegenerative disorders. *Scientific Reports*, 10. Article number: 9161. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66090-x>.
- Loprinzi, C. L., Lacchetti, C., Bleeker, J., Cavaletti, G. et al. 2020. Prevention and management of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in survivors of adult cancers: ASCO Guideline Update. *Journal of Clinical Oncology*, 38(28), pp. 3325–3348. DOI: <https://doi.org/10.1200/JCO.20.01399>.
- Romano, R., Del Fiore, V. S., Bucci, C. 2022. Role of the intermediate filament protein peripherin in health and disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23). Article number: 15416. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232315416>.
- Tofaris, G. K., Patterson, P. H., Jessen, K. R., Mirsky, R. 2002. Denervated Schwann cells attract macrophages by secretion of leukemia inhibitory factor (LIF) and monocyte chemoattractant protein-1 in a process regulated by interleukin-6 and LIF. *Journal of Neuroscience*, 22(15), pp. 6696–6703. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-15-06696.2002>.

Сведения об авторах

Чеченихина Ольга Сергеевна – ул. 8 Марта, 62, г. Екатеринбург, Россия, 620130;
Уральский государственный экономический университет, д-р биол. наук, профессор;
e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Olga S. Chechenikhina – 62, 8 Marta Str., Yekaterinburg, Russia, 620130;
Ural State University of Economics, Dr Sci. (Biology), Professor;
e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Лазарев Владимир Александрович – ул. 8 Марта, 62, г. Екатеринбург, Россия, 620130;
Уральский государственный экономический университет, канд. техн. наук;
e-mail: lazarev.eka@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0470-7324>

Vladimir A. Lazarev – 62, 8 Marta Str., Yekaterinburg, Russia, 620130;
Ural State University of Economics, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: lazarev.eka@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0470-7324>