




Перспективы ферментации дисперсии на основе красного риса с растительными экстрактами




Валерий А. Ширяев	¹	vashiryayev@itmo.ru	 0009-0005-4007-7795
Максим С. Иванов	¹	msivanov@itmo.ru	 0009-0000-5754-5026
Наталья В. Яковченко	¹	nviakovchenko@itmo.ru	 0000-0002-5188-5916

¹ Университет ИТМО, улица Ломоносова, д. 9, г. Санкт-Петербург, 192002, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования напитка на основе красного риса с растительными экстрактами, ферментированного *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Целью работы являлась оценка влияния экстрактов родиолы, элеутерококка, солодки, розмарина и базилика на содержание полифенолов, антиоксидантную активность, микробиологические показатели и pH в процессе ферментации рисовой основы. Установлено, что наибольшее содержание полифенолов Место для ввода текста наблюдалось в образцах с родиолой (0,153 мг GAE/мл) и элеутерококком (0,138 мг GAE/мл) при контрольном значении 0,057 мг GAE/мл. Антиоксидантная активность также была максимальной при использовании родиолы (87,93 %) и элеутерококка (81,90 %), тогда как контрольный образец без экстрактов характеризовался значением 14,66 %. Во всех вариантах с растительными добавками отмечен прирост биомассы *L. bulgaricus* после ферментации на 1,69-1,70 lg(COE/мл). Полученные данные показывают, что *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* имеет перспективы для ферментации напитков на основе красного риса с экстрактами, обладающими адаптогенными свойствами, где наиболее перспективными по совокупности показателей являются родиола и базилик с розмарином. Актуальность исследования обусловлена глобальным трендом перехода к растительным альтернативам животным продуктам: прогнозируется, что к 2026 году объем мирового рынка растительного «молока» достигнет 21 млрд долл. США, что требует разработки новых безлактозных ферментированных продуктов. В работе использован комплексный подход, включающий определение динамики pH, максимальной скорости подкисления (V_{max}), общего содержания полифенолов методом Фолина-Чокальтеу, антиоксидантной активности по DPPH-методу и жизнеспособности микроорганизмов глубинным посевом на среду МРС. Установлены различия в кинетике кислотонакопления: образец с элеутерококком характеризовался максимальной скоростью подкисления (0,275 ед. pH/ч), тогда как розмарин демонстрировал наиболее низкую V_{max} (0,210 ед. pH/ч). Выявлена дифференцированная зависимость между содержанием полифенолов и антиоксидантной активностью: для розмарина зафиксировано промежуточное содержание полифенолов (0,107 мг GAE/мл) при относительно высокой АОА (68,97 %), что указывает на качественные различия в составе антиоксидантных соединений. С органолептической точки зрения наиболее гармоничный вкусо-ароматический профиль отмечен для образцов с базиликом и розмарином, что определяет их потенциал для разработки продуктов массового потребления. Практическая значимость работы заключается в обосновании возможности создания безлактозного ферментированного напитка растительной основы с адаптогенными свойствами и в определении двух стратегических направлений дальнейшей разработки: максимальный функциональный профиль (родиола) и оптимальные органолептические характеристики (базилик и розмарин).

Ключевые слова: красный рис, ферментированный напиток, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, антиоксидантная активность, полифенолы, адаптогены, кислотонакопление.

Prospects for fermentation of red rice-based dispersion with plant extracts

Valerii A. Shiriaev	¹	vashiryayev@itmo.ru	 0009-0005-4007-7795
Maksim S. Ivanov	¹	msivanov@itmo.ru	 0009-0000-5754-5026
Natalia V. Iakovchenko	¹	nviakovchenko@itmo.ru	 0000-0002-5188-5916

¹ ITMO University, 9 Lomonosov Street, Saint Petersburg, 192002, Russia

Abstract. This article presents the results of a study on a red rice-based beverage containing plant extracts, fermented with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. The aim of the work was to evaluate the effect of extracts of rhodiola, eleutherococcus, licorice, rosemary, and basil on the polyphenol content, antioxidant activity, microbiological parameters, and pH during the fermentation of the rice base. It was found that the highest polyphenol content was observed in the samples with rhodiola (0.153 mg GAE/mL) and eleutherococcus (0.138 mg GAE/mL), compared to the control value of 0.057 mg GAE/mL. Antioxidant activity was also maximal when using rhodiola (87.93%) and eleutherococcus (81.90%), whereas the control sample without extracts showed a value of 14.66%. In all variants with plant additives, an increase in *L. bulgaricus* biomass after fermentation by 1.69–1.70 lg(CFU/mL) was recorded. The obtained data indicate that *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* holds promise for the fermentation of red rice-based beverages with extracts exhibiting adaptogenic properties, with rhodiola and basil with rosemary being the most promising in terms of the overall set of parameters. The relevance of the study is due to the global trend of transition to plant-based alternatives to animal products: it is predicted that by 2026 the global plant-based "milk" market will reach \$21 billion USD, which necessitates the development of new lactose-free fermented products. The work employed a comprehensive approach, including determination of pH dynamics, maximum acidification rate (V_{max}), total polyphenol content by the Folin–Ciocalteu method, antioxidant activity by the DPPH method, and microbial viability by the pour plate method on MRS medium. Differences in acidification kinetics were established: the Eleutherococcus sample was characterized by the maximum acidification rate (0.275 pH units/h), while rosemary demonstrated the lowest V_{max} (0.210 pH units/h). A differentiated relationship between polyphenol content and antioxidant activity was revealed: rosemary showed an intermediate polyphenol content (0.107 mg GAE/mL) with relatively high AOA (68.97%), indicating qualitative differences in the composition of antioxidant compounds. From an organoleptic point of view, the most harmonious flavor and aroma profile was noted for samples with basil and rosemary, which determines their potential for the development of mass-consumption products. The practical significance of the work lies in substantiating the possibility of creating a lactose-free fermented beverage of plant origin with adaptogenic properties and in identifying two strategic directions for further development: maximum functional profile (Rhodiola) and optimal organoleptic characteristics (basil and rosemary).

Keywords: red rice, fermented beverage, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, antioxidant activity, polyphenols, adaptogens, acid formation.

Для цитирования

Ширяев В.А., Иванов М.С., Яковченко Н.В. Перспективы ферментации дисперсии на основе красного риса с растительными экстрактами // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 2. С. 275–283. doi:10.20914/2310-1202-2026-2-275-283

For citation

Shiryayev V.A., Ivanov M.S., Yakovchenko N.V. Prospects for fermentation of red rice-based dispersion with plant extracts. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 2. pp. 275–283. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-2-275-283

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Считается, что выбор продуктов питания существенно влияет на изменение климата, что связано с высокими выбросами парниковых газов и значительным потреблением воды и земли. Одним из решений может быть сокращение потребления животного белка в пользу продуктов на растительной основе [5]. Прогнозируется, что в 2026 году объём мировой индустрии растительного «молока», достигнет 21 миллиарда долларов США, что приводит к тому, что данные продукты займут значительную долю рынка [22].

Красный рис является перспективной основой для таких напитков за счет содержания фенольных соединений и антиоксидантов [8, 10, 11, 13, 15, 21, 23]. В нешлифованном зерне значительная часть биологически активных веществ связана с оболочечными слоями [7]. Помимо гипоаллергенных свойств рис также отличается богатым минеральным составом [26].

Потребление ферментированных продуктов – это древняя традиция, существующая в каждой культуре мира. Ферментация естественным образом позволяет создать новые органолептические характеристики и повысить сохранность продуктов, а также улучшить оздоровительные и питательные свойства продуктов, в частности, продуктов на растительной основе. Ферментация улучшает усвояемость сложных компонентов пищи, таких как клетчатка, крахмалы и белки, преобразуя их в более легко усваиваемые олигосахариды, пептиды и аминокислоты [20].

В настоящее время разработка технологии безлактозных ферментированных растительных продуктов является актуальным, поскольку данные продукты могут быть использованы в качестве функциональных продуктов [25].

Адаптогены относятся к категории физиологически активных соединений, которые обладают разнообразной биологической активностью, в частности, нейропротекторной, иммуномодулирующей, противовоспалительной, антиоксидантной.

Механизм действия адаптогенов остается в значительной степени не изученным, несмотря на значительный прогресс в исследованиях мозга и эндокринной системы, особенно в области регуляции биоритмов, которые тесно связаны с процессами старения и возрастными изменениями. Растительные адаптогены эффективны в борьбе с нарушениями, вызванными эмоциональным перенапряжением для облегчения симптомов стресса, таких как усталость и истощение, помогая организму быстрее восстанавливаться. Предполагается, что противоутомляющая активность реализуется через механизмы регуляция оси гипоталамус-гипофиз-надпочечники

и модуляции окислительного стресса, что способствует улучшению когнитивных функций, физической выносливости, спокойного сна, эмоциональной стабильности и поддержке обмена веществ.

Адаптогены всё чаще включают в состав функциональных продуктов питания, что делает их доступным инструментом для поддержания здорового образа жизни [17; 18].

Цель работы – изучение влияния растительных экстрактов, обладающих адаптогенными свойствами, на содержание полифенолов, антиоксидантную активность, микробиологические показатели, pH ферментированных напитков на основе красного риса, полученных с использованием *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись образцы ферментированного напитка на основе красного риса сорта «Рубин» (Агро-Альянс, Россия): контрольный образец без добавления экстракта и образцы с добавлением сухих экстрактов родиолы (0,3%), элеутерококка (0,5%), солодки (0,15%), розмарина (0,3%) и базилика (0,5%). Экстракты подбирались исходя из максимально возможной концентрации внесения согласно органолептической оценке методом Just about right с участием 36 респондентов в возрасте от 22 до 65 лет [16].

На основании результатов, полученных нами ранее в исследовании [14], растительную дисперсию из красного риса получали согласно схеме на Рисунке 1. Промытое зерно замачивали в водопроводной воде при соотношении рис: вода 1:4 (масса/объем) в течение 12 ч. После замачивания воду сливали. После замачивания рис заливали фильтрованной водой при соотношении 1:8 (масса / объем) и подвергали тепловой обработке в течение 40 мин. Полученную рисовую массу измельчали методом влажного помола с использованием блендера SHINE BLW-N02 (SHINE, Китай) при скорости 2 в течение 3 мин. После измельчения получали пастообразную дисперсию. Для частичного гидролиза и разжижения крахмала в дисперсию вносили альфа-амилазу из *Bacillus subtilis* (порошок, не менее 400 ед./мг белка, Sigma-Aldrich, Германия) в количестве 0,3% (масса / объем). Ферментативную обработку проводили при 65 °С в течение 25 мин. После ферментативной обработки дисперсию фильтровали для удаления крупных частиц. Полученную рисовую основу пастеризовали при 85 °С в течение 5 мин, затем охлаждали до температуры ферментации чистой культурой *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 (НИЦ «Курчатовский институт»)

в дозировке 150 мкл на 100 мл растительной дисперсии. Биомассу микроорганизмов получали путем посева в жидкую питательную среду МРС. Культивирование проводили в течение 48–96 ч. Полученную биомассу концентрировали центрифугированием в течение 10 мин при $3354 \cdot g$, отделяли от питательной среды и вносили криопротектор – 12% раствор сахарозы в количестве 10% от исходного объема питательной среды. При необходимости центрифугирование повторяли с последующим удалением остаточного супернатанта.

Ферментацию образцов рисовой дисперсии проводили при температуре 45 ± 1 °С. Общее содержание полифенолов определяли фотометрическим методом с использованием реактива Фолина и галловой кислоты в качестве стандарта, оптическую плотность измеряли при длине волны 725 нм [19] Результаты выражали в пересчете на галловую кислоту.

Значения рН образцов измеряли с помощью рН-метра HANNA HI98127 (Hanna Instruments, Венгрия).

Максимальная скорость подкисления (V_{max}) была рассчитана с использованием уравнения и выражено в абсолютных значениях (ед. рН/ч) [4].

Антиоксидантную активность оценивали по способности связывать свободный радикал DPPH [2, 3] Для подготовки экстракта 2,5 мл рисовой дисперсии или ферментированного образца смешивали с 10 мл этанола и центрифугировали при $5668 \times g$ в течение 20 мин при 4 °С. Жидкую фазу использовали для дальнейшего анализа. Для проведения реакции 250 мкл этанольного экстракта смешивали с 1 мл 0,1 мМ этанольного раствора DPPH (Sigma-Aldrich, Германия) и 2,25 мл этанола. Смесь инкубировали при комнатной температуре в темноте в течение 30 мин. Оптическую плотность измеряли при 517 нм [2].

Для определения жизнеспособности микроорганизмов 1 мл каждого ферментированного образца последовательно разводили в стерильном 0,9% растворе хлорида натрия от 10^{-1} до 10^{-10} . Посев проводили глубинным методом в среду МРС и культивировали при 37 °С в течение 48 ч. Результаты выражали как \log_{10} КОЕ/мл.

Эксперименты выполняли в трех повторностях. Результаты представляли как среднее значение \pm стандартное отклонение. Результаты проведенных экспериментов были обработаны с использованием программного обеспечения OriginPro 2024 при уровне значимости $p < 0,05$.

Схема приготовления рисовой дисперсии

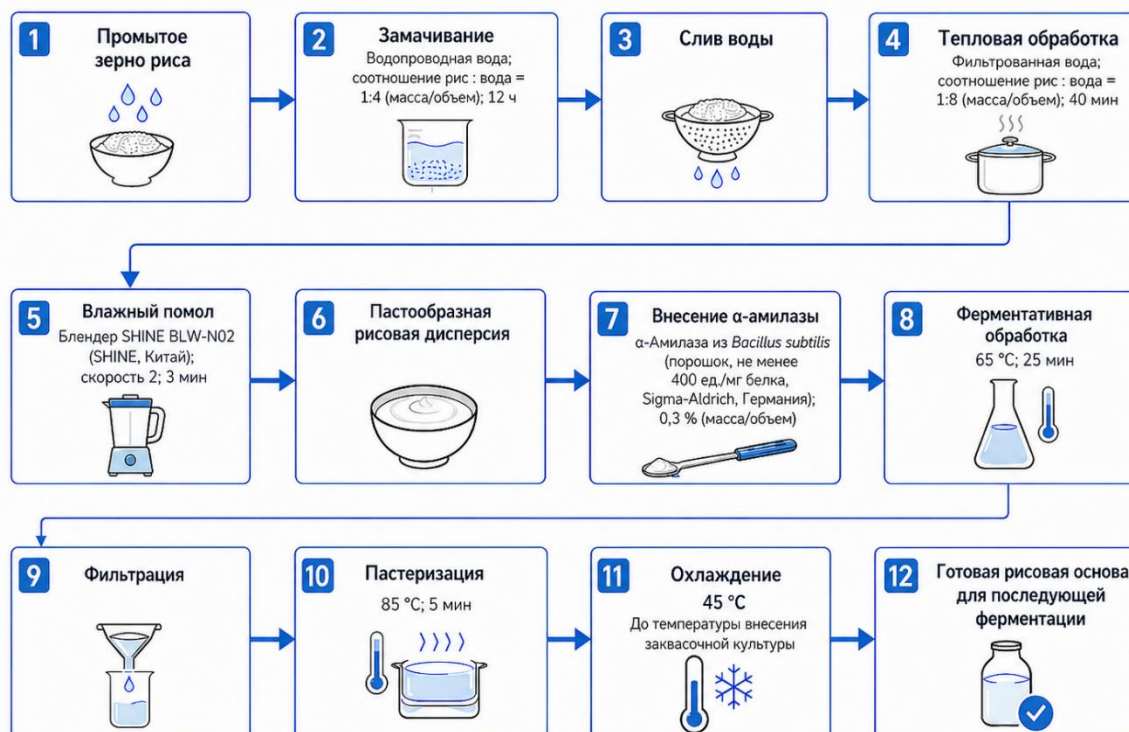


Рисунок 1. Схема приготовления рисовой дисперсии
Figure 1. Rice dispersion preparation scheme

Результаты

Данные по динамике кислотонакопления представлены на Рисунке 2. При внесении экстрактов оказывало влияние на первоначальные показатели pH. Динамика изменения активной кислотности свидетельствовала о стабильном подкислении среды на протяжении 4 часов ферментации. При этом все образцы достигли

значения pH после ферментации от 4,47 до 4,62 вне зависимости от внесенного экстракта.

Таким образом, *Lactobacillus bulgaricus* обеспечивает стабильное снижение pH во всех исследуемых образцах. Это сопоставимо с данными М.А. Deziderio и соавт. [9] где при ферментации растительной дисперсии на основе риса pH снижался с 6,47 до 4,92.

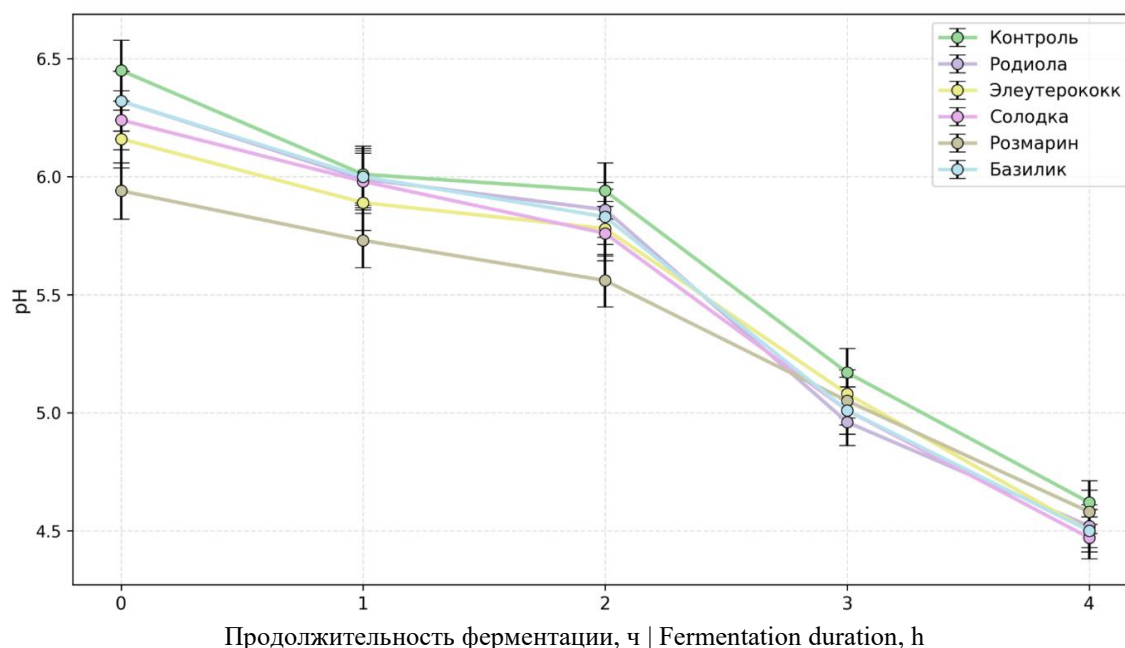


Рисунок 2. Динамика изменения pH в процессе ферментации напитков на основе красного риса культурой *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19

Figure 2. Dynamics of pH changes during fermentation of red rice-based beverages by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19

Как видно из таблицы 1, максимальная скорость снижения pH зависела от вида внесённой растительной добавки. Наибольшее значение V_{max} среди исследованных вариантов было отмечено для образца с элеутерококком – 0,275 ед. pH/ч, что превышало показатель контрольного образца (0,250 ед. pH/ч). Незначительно более высокая скорость снижения pH по сравнению с контролем также наблюдалась в образце с солодкой (0,255 ед. pH/ч). Образцы с родиолой и базиликом характеризовались одинаковым значением V_{max} – 0,235 ед. pH/ч, а минимальная скорость подкисления была установлена для варианта с розмарином – 0,210 ед. pH/ч.

Содержание полифенолов в контрольном образце составило 0,057 мг GAE/мл (Рисунок 3). Внесение родиолы позволило повысить показатель до 0,153 мг GAE/мл, а элеутерококка – до 0,138 мг GAE/мл. Эти два образца заметно отличались от остальных. Розмарин продемонстрировал промежуточное значение – 0,107 мг GAE/мл. Образцы с солодкой и базиликом были ближе к контрольному образцу, а именно, 0,066 и 0,067 мг GAE/мл,

соответственно. Таким образом, несмотря на то, что сухие экстракты розмарина и базилика были добавлены в таком же количестве, что и родиола (0,3%) и элеутерококк (0,5%), по содержанию полифенолов наиболее выраженный эффект при ферментации *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* показали родиола и элеутерококк.

Таблица 1.
Максимальная скорость снижения pH в образцах ферментированного рисового напитка с растительными добавками

Table 1.
Maximum pH decrease rate in samples of fermented rice beverage with plant additives

Показатель Index	V_{max} , pH/ч
Контроль Control	0,250
Родиола Rhodiola	0,235
Элеутерококк Eleutherococcus	0,275
Солодка Licorice	0,255
Розмарин Rosemary	0,210
Базилик Basil	0,235

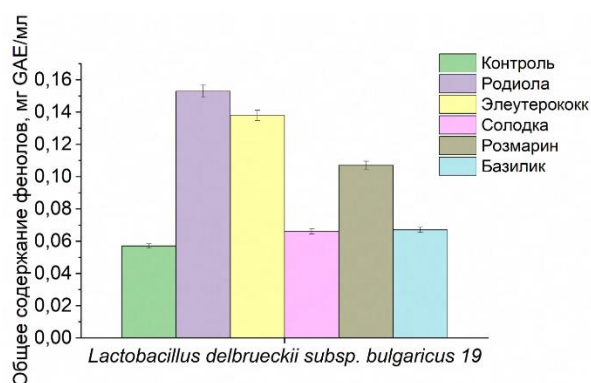


Рисунок 3. Содержание полифенолов в ферментированных напитках на основе красного риса при использовании *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

Figure 3. Polyphenol content in fermented red rice-based beverages using *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

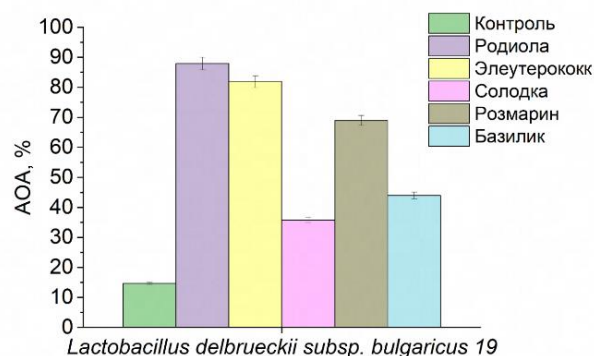


Рисунок 4. Антиоксидантная активность ферментированных напитков на основе красного риса с растительными экстрактами

Figure 4. Antioxidant activity of fermented red rice-based beverages with plant extracts

Результаты по антиоксидантной активности, представленные на рисунке 4 показывают, что антиоксидантная активность контрольного образца составляла 14,66%. Максимальный показатель отмечен в образце с родиолой – 87,93%. Внесение элеутерококка также обеспечивало высокий уровень АОА – 81,90%. Розмарин занимал третью позицию с результатом 68,97%. Образцы с солодкой и базиликом продемонстрировали более умеренные значения – 35,78 и 43,97% соответственно. В отличие от полифенолов, где образец с розмарином заметно уступал образцам с родиолой и элеутерококком, по значениям АОА он приближался к лидирующим вариантам. Это показывает, что антиоксидантная активность зависит не только от общего количества полифенолов, но и от состава антиоксидантных соединений.

Внесение любого из выбранных растительных экстрактов оказало положительное влияние на прирост биомассы *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 19 в процессе ферментации (рис. 5). В образце с родиолой количество микроорганизмов увеличивалось с 6,15 до 7,85 lg(KOE/мл), с элеутерококком – с 5,72 до 7,41 lg(KOE/мл), с солодкой – с 7,38 до 9,08 lg(KOE/мл), с розмарином – с 7,55 до 9,25 lg(KOE/мл), с базиликом – с 7,56 до 9,26 lg(KOE/мл). Таким образом, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 19 сохраняла способность к развитию в рисовой дисперсии независимо от вида растительных экстрактов. Сходные значения были получены при ферментации рисового порошка бактериями *Lactobacillus spp.* and *Pediococcus spp.*, которые показали численность жизнеспособных клеток после ферментации составила до 9.6 log КОЕ/мл [12].

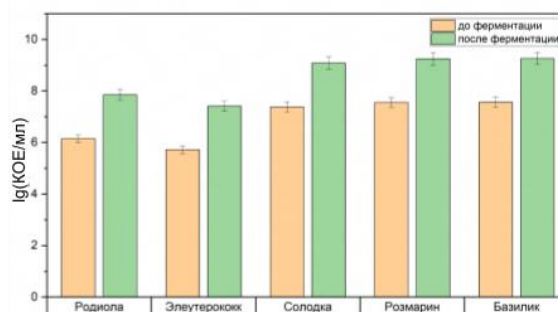


Рисунок 5. Изменение микробиологических показателей до и после ферментации напитков на основе красного риса культурой *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

Figure 5. Changes in microbiological parameters before and after fermentation of red rice-based beverages by *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

Обсуждение

Полученные результаты следует рассматривать в контексте двух связанных направлений исследований: разработки ферментированных растительных напитков и использования красного риса как источника фенольных соединений. В работе F. Cardinali и соавт. [6] красный рис использовали как один из субстратов для получения ферментированных злаковых напитков; авторы предварительно проверяли 23 штамма молочнокислых бактерий и отбирали культуры по способности быстро снижать pH. Такой подход важен для интерпретации настоящих данных: технологическая пригодность культуры определяется не только фактом роста, но и тем, насколько стабильно она подкисляет конкретную растительную матрицу.

В настоящем исследовании *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 19 обеспечивал прирост микробиологических показателей во всех образцах с растительными добавками, а pH ко 4-му часу находился в диапазоне 4,47–4,62.

Аналогичная динамика снижения pH при ферментации рисового молока описана в работе Поповой Н.В. [24] где показано, что активность пробиотических культур сопровождается постепенным нарастанием кислотности и ускорением ферментации при повышении температуры до 37 °С. Это подтверждает, что рисовая основа может эффективно поддерживать развитие молочнокислой микрофлоры.

В той же работе большинство ферментированных растительных дисперсий сохраняло численность молочнокислых бактерий выше 10^6 КОЕ/мл при хранении. Наши конечные значения микробиологических показателей (7,41–9,26 lg(КОЕ/мл)) находятся выше этого технологически значимого уровня. Сходные результаты представлены и в исследовании Бояриновой И.В. и соавт., где при ферментации растительных субстратов достигалась численность микроорганизмов на уровне 10^7 - 10^8 КОЕ/см³ [25].

Полученные результаты показывают, что *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 хорошо адаптируется к рисовой основе с различными растительными экстрактами. Во всех вариантах наблюдался прирост микробиологических показателей после ферментации, а pH снижался до значений, характерных для активно протекающего процесса. Это позволяет рассматривать данную культуру как технологически пригодную для получения ферментированного напитка на основе красного риса.

Следует учитывать, что особенности ферментации растительных напитков связаны со специфическими свойствами самой матрицы. Как отмечает Егорова Е.Ю. [1], растительное молоко представляет собой менее стабильную коллоидную систему по сравнению с коровьим молоком и характеризуется более низким содержанием белка, что может влиять на интенсивность метаболических процессов микроорганизмов. Несмотря на это, современные исследования подтверждают перспективность использования растительных основ для создания функциональных ферментированных продуктов [1].

Наиболее важным результатом является различие между полифенольным профилем и антиоксидантной активностью. Родиола и элеутерококк были лидерами по обоим показателям, однако розмарин показал сравнительно высокую АОА при более умеренном содержании полифенолов. Это означает, что оценка качества напитка не должна ограничиваться только суммарными полифенолами. Антиоксидантная активность может зависеть от конкретного состава соединений.

Родиола выглядит наиболее перспективным компонентом, если основной задачей является повышение содержания полифенолов

и антиоксидантной активности. При ферментации *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 она обеспечивала максимальное содержание полифенолов (0,153 мг GAE/мл) и максимальную антиоксидантную активность (87,93%). При этом кислотонакопление в варианте с родиолой было умеренным: к 4-му часу значение pH – 4,52. Такой профиль может быть удобен для напитка, в котором требуется совместить функциональную направленность и относительно мягкое подкисление.

Элеутерококк проявил себя иначе. Он занимал второе место по полифенолам и АОА, но обеспечивал наиболее интенсивное кислотонакопление: к 4-му часу pH составил 4,50. Это делает вариант с элеутерококком технологически значимым для более активной ферментации. Однако такой образец требует дальнейшей органолептической оценки, поскольку интенсивное подкисление может влиять на вкус и приемлемость напитка.

Солодка и базилик не обеспечивали высокого содержания полифенолов, но поддерживали развитие культуры и участвовали в формировании кислотности. Розмарин, напротив, показал высокий антиоксидантный отклик при умеренном содержании полифенолов. Поэтому эти добавки не следует исключать из дальнейшей работы.

С органолептической точки зрения с использованием гедонической шкалы [27] наиболее благоприятные характеристики среди образцов с растительными добавками были отмечены у вариантов с базиликом и розмарином. После ферментации данные образцы характеризовались более гармоничным сочетанием вкуса и аромата по сравнению с другими исследуемыми добавками, что может быть связано с особенностями состава эфиромасличных компонентов данных растений.

В целом результаты позволяют выделить два основных направления дальнейшей разработки. Первое – вариант с родиолой, ориентированный на максимальное содержание полифенолов и высокую антиоксидантную активность. Второе – использование базилика и розмарина с более низким содержанием полифенольных веществ, но более приятными органолептическими характеристиками.

При использовании *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 наиболее высокое содержание полифенолов отмечено в вариантах с родиолой (0,153 мг GAE/мл) и элеутерококком (0,138 мг GAE/мл).

Максимальная антиоксидантная активность также получена для образцов с родиолой (87,93%) и элеутерококком (81,90%); розмарин занимал промежуточное положение и обеспечивал 68,97%.

Во всех вариантах с растительными добавками *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 демонстрировал положительный микробиологический прирост после ферментации составил 1,69–1,70 условных логарифмических единицы.

Наиболее интенсивное кислотонакопление наблюдалось в образцах с элеутерококком и с солодкой: к четвертому часу кислотность достигала значений рН 4,50 и 4,47 соответственно.

Для дальнейшей технологической обработки наиболее перспективны два варианта: *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 с родиолой как образец с максимальным полифенольным и антиоксидантным профилем и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* с розмарином и базиликом как образцы, показавшие удовлетворительные результаты при органолептической оценке.

Заключение

Проведённое исследование показало, что *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19 является технологически пригодной культурой для ферментации растительной дисперсии на основе красного риса сорта «Рубин». Во всех исследуемых вариантах с растительными экстрактами наблюдалось стабильное снижение рН до значений 4,47–4,62 за 4 часа ферментации и положительный микробиологический прирост на 1,69–1,70 lg (КОЕ/мл), что подтверждает способность культуры адаптироваться к данной растительной матрице.

Внесение экстрактов оказало выраженное влияние на функциональные характеристики готового напитка. Наиболее высокое содержание полифенолов зафиксировано в образцах

с родиолой (0,153 мг GAE/мл) и элеутерококком (0,138 мг GAE/мл), тогда как антиоксидантная активность была максимальной в тех же вариантах – 87,93 и 81,90% соответственно. Розмарин продемонстрировал промежуточную антиоксидантную активность (68,97%) при относительно умеренном содержании полифенолов, что свидетельствует о качественных различиях в составе антиоксидантных соединений разных экстрактов.

По совокупности полученных данных определены два перспективных направления для дальнейшей технологической обработки. Вариант с родиолой обеспечивает максимальный полифенольный и антиоксидантный профиль при умеренном подкислении и может быть рекомендован для разработки функциональных ферментированных напитков с адаптогенными свойствами. Варианты с базиликом и розмарином, несмотря на более низкие значения полифенолов, характеризовались наиболее приемлемыми органолептическими показателями, что открывает перспективы их использования при разработке ферментированных напитков массового потребления. Практическая значимость работы состоит в обосновании возможности создания безлактозного ферментированного напитка на растительной основе с адаптогенными свойствами. Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию концентраций экстрактов, изучение стабильности функциональных характеристик в процессе хранения и расширение спектра применяемых заквасочных культур.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта НИРМА No 625108, Университет ИТМО.

Литература

- 1 Егорова Е.Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий // Ползуновский вестник. 2019. № 3. С. 25–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005
- 2 Apostolidis E., Kwon Y.I., Shetty K. Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2007. V. 8. № 1. P. 46–54. doi: 10.1016/j.ifset.2006.06.001
- 3 Aydar E.F. Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk substitute as a novel plant-based drink: fatty acid profile, antioxidant activity, in-vitro phenolic bio-accessibility and sensory characteristics // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2023. V. 83. P. 103254. doi: 10.1016/j.ifset.2022.103254
- 4 Bezerra M.F., Souza D.F.S., Correia R.T.P. Acidification kinetics, physicochemical properties and sensory attributes of yoghurts prepared from mixtures of goat and buffalo milks // International Journal of Dairy Technology. 2012. V. 65. № 3. P. 437–443. doi: 10.1111/j.1471-0307.2012.00842.x
- 5 Caccialanza A. How retail marketing levers influence demand for plant-based products: a revealed preference analysis across food categories and urbanization levels // British Food Journal. 2026. V. 128. № 3. P. 1209–1234. doi: 10.1108/BFJ-05-2025-0483
- 6 Cardinali F. Innovative fermented beverages made with red rice, barley, and buckwheat // Foods. 2021. V. 10. № 3. P. 613. doi: 10.3390/foods10030613
- 7 Chen T. Anthocyanins-natural pigment of colored rice bran: composition and biological activities // Food Research International. 2024. V. 175. P. 113722. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113722
- 8 Colombari Filho J.M., De Abreu A.G., Pereira J.A. Red Rice // Costa De Oliveira A., Pegoraro C., Ebeling Viana V. (eds.) The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 283–296. doi: 10.1007/978-3-030-37510-2_12
- 9 Deziderio M.A. Plant-Based Fermented Beverages: development and characterization // Foods. 2023. V. 12. № 22. P. 4128. doi: 10.3390/foods12224128

- 10 Fan M. Germination-induced changes in anthocyanins and proanthocyanidins: a pathway to boost bioactive compounds in red rice // *Food Chemistry*. 2024. V. 433. P. 137283. doi: 10.1016/j.foodchem.2023.137283
- 11 Gunaratne A., Wu K., Li D. et al. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins // *Food Chemistry*. 2013. V. 138. № 2–3. P. 1153–1161. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.129
- 12 Jukonyte R., Zavistanaviciute P., Lele V. et al. A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products // *LWT*. 2018. V. 97. P. 323–331. doi: 10.1016/j.lwt.2018.07.008
- 13 Jun H., Lee J., Kim J. et al. Antioxidant activities and phenolic compounds of pigmented rice bran extracts // *Journal of Food Science*. 2012. V. 77. № 7. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02786.x
- 14 Kang S.J., Kim S.H., Lee J.H. et al. Bioactive compounds and quality evaluation of red-pigmented rice processed by germination and roasting // *Foods*. 2022. V. 11. № 18. P. 2735. doi: 10.3390/foods11182735
- 15 Laokuldilok T., Shoemaker C.F., Jongkaewwattana S., Tulyathan V. Antioxidants and antioxidant activity of several pigmented rice brans // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011. V. 59. № 1. P. 193–199. doi: 10.1021/jf103649q
- 16 Li B., Hayes J.E., Ziegler G.R. Just-about-right and ideal scaling provide similar insights into the influence of sensory attributes on liking // *Food Quality and Preference*. 2014. V. 37. P. 71–78. doi: 10.1016/j.foodqual.2014.04.019
- 17 Malekijahan F. Unlocking nature's potential: the power of adaptogens in enhancing modern health and wellness // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025. V. 24. P. 102501. doi: 10.1016/j.jafr.2025.102501
- 18 Panossian A., Lemerond T. Two sides of the same coin for health: adaptogenic botanicals as nutraceuticals for nutrition and pharmaceuticals in medicine // *Pharmaceuticals*. 2025. V. 18. № 9. P. 1346. doi: 10.3390/ph18091346
- 19 Rodríguez-Roque M.J., Rojas-Graü M.A., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion // *Food Chemistry*. 2013. V. 136. № 1. P. 206–212. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.07.115
- 20 Roland N., Chassard C., Gaucheron F. et al. Benefits of fermented foods, from empiricism to scientific evidence: the contribution of Ferments du Futur // *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 2026. doi: 10.1016/j.cnd.2026.03.004
- 21 Shao Y., Xu F., Sun X. et al. Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (*Oryza sativa* L.) grains at four stages of development after flowering // *Food Chemistry*. 2014. V. 143. P. 90–96. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.07.113
- 22 Stanley-Foreman Z. Plant milks are pushing for further innovation in specialty coffee. 2025.
- 23 Yu J., Yu X., Wang Y. et al. Changes of polyphenols and their antioxidant activities in non-pigmented, red and black rice during in vitro digestion // *Food Chemistry: X*. 2024. V. 24. P. 101821. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101821
- 24 Попова Н.В. Оценка эффективности процесса ферментации рисового молока комплексной пробиотической закваской // *Наука ЮУрГУ: мат. 75-й науч. конф. Секции естественных наук*. Челябинск: ЮУрГУ, 2023. С. 19–21.
- 25 Boyarineva I.V., Derkanosova N.M., Vasilenko O.A. et al. Investigation of the biochemical activity of starter compositions enriched with propionic acid bacteria on various raw materials // *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023. V. 85. № 1. P. 180–186. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-180-186
- 26 Irondi E.A., Adegoke B.M., Alamu E.O. et al. Plant-based milk substitutes: sources, production, and nutritional, nutraceutical and sensory qualities // *Frontiers in Food Science and Technology*. 2025. V. 5. P. 1593870. doi: 10.3389/frfst.2025.1593870
- 27 Meta H., Sokra I., Somaly S. Comparative review of hedonic, descriptive, and discrimination sensory tests // 2026. V. 2. P. 287–297. doi: 10.6084/m9.figshare.30937733


References

- 1 Egorova E.Yu. "Non-dairy milk": a review of raw materials and technologies. *Polzunovsky Bulletin*. 2019. no. 3. pp. 25–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005 (in Russian).
- 2 Apostolidis E., Kwon Y.I., Shetty K. Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2007. vol. 8. no. 1. pp. 46–54. doi: 10.1016/j.ifset.2006.06.001.
- 3 Aydar E.F. Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk substitute as a novel plant-based drink: fatty acid profile, antioxidant activity, in-vitro phenolic bio-accessibility and sensory characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2023. vol. 83. article 103254. doi: 10.1016/j.ifset.2022.103254.
- 4 Bezerra M.F., Souza D.F.S., Correia R.T.P. Acidification kinetics, physicochemical properties and sensory attributes of yoghurts prepared from mixtures of goat and buffalo milks. *International Journal of Dairy Technology*. 2012. vol. 65. no. 3. pp. 437–443. doi: 10.1111/j.1471-0307.2012.00842.x.
- 5 Caccialanza A. How retail marketing levers influence demand for plant-based products: a revealed preference analysis across food categories and urbanization levels. *British Food Journal*. 2026. vol. 128. no. 3. pp. 1209–1234. doi: 10.1108/BFJ-05-2025-0483.
- 6 Cardinali F. Innovative fermented beverages made with red rice, barley, and buckwheat. *Foods*. 2021. vol. 10. no. 3. article 613. doi: 10.3390/foods10030613.
- 7 Chen T. Anthocyanins-natural pigment of colored rice bran: composition and biological activities. *Food Research International*. 2024. vol. 175. article 113722. doi: 10.1016/j.foodres.2023.113722.
- 8 Colombari Filho J.M., De Abreu A.G., Pereira J.A. Red Rice. In: Costa De Oliveira A., Pegoraro C., Ebeling Viana V. (eds.) *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity*. Cham: Springer International Publishing, 2020. pp. 283–296. doi: 10.1007/978-3-030-37510-2_12.
- 9 Deziderio M.A. Plant-Based Fermented Beverages: development and characterization. *Foods*. 2023. vol. 12. no. 22. article 4128. doi: 10.3390/foods12224128.
- 10 Fan M. Germination-induced changes in anthocyanins and proanthocyanidins: a pathway to boost bioactive compounds in red rice. *Food Chemistry*. 2024. vol. 433. article 137283. doi: 10.1016/j.foodchem.2023.137283.
- 11 Gunaratne A., Wu K., Li D. et al. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. *Food Chemistry*. 2013. vol. 138. no. 2–3. pp. 1153–1161. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.129.


- 12 Kukonye R., Zavistanaviciute P., Lele V. et al. A potential of brown rice polish as a substrate for the lactic acid and bioactive compounds production by the lactic acid bacteria newly isolated from cereal-based fermented products. *LWT*. 2018. vol. 97. pp. 323–331. doi: 10.1016/j.lwt.2018.07.008.
- 13 Jun H., Lee J., Kim J. et al. Antioxidant activities and phenolic compounds of pigmented rice bran extracts. *Journal of Food Science*. 2012. vol. 77. no. 7. [Online first]. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02786.x.
- 14 Kang S.J., Kim S.H., Lee J.H. et al. Bioactive compounds and quality evaluation of red-pigmented rice processed by germination and roasting. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 18. article 2735. doi: 10.3390/foods11182735.
- 15 Laokuldilok T., Shoemaker C.F., Jongkaewwattana S., Tulyathan V. Antioxidants and antioxidant activity of several pigmented rice brans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011. vol. 59. no. 1. pp. 193–199. doi: 10.1021/jf103649q.
- 16 Li B., Hayes J.E., Ziegler G.R. Just-about-right and ideal scaling provide similar insights into the influence of sensory attributes on liking. *Food Quality and Preference*. 2014. vol. 37. pp. 71–78. doi: 10.1016/j.foodqual.2014.04.019.
- 17 Malekijahan F. Unlocking nature's potential: the power of adaptogens in enhancing modern health and wellness. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025. vol. 24. article 102501. doi: 10.1016/j.jafr.2025.102501.
- 18 Panossian A., Lemerond T. Two sides of the same coin for health: adaptogenic botanicals as nutraceuticals for nutrition and pharmaceuticals in medicine. *Pharmaceuticals*. 2025. vol. 18. no. 9. article 1346. doi: 10.3390/ph18091346.
- 19 Rodríguez-Roque M.J., Rojas-Graü M.A., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*. 2013. vol. 136. no. 1. pp. 206–212. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.07.115.
- 20 Roland N., Chassard C., Gaucheron F. et al. Benefits of fermented foods, from empiricism to scientific evidence: the contribution of Ferments du Futur. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 2026. [Online first]. doi: 10.1016/j.cnd.2026.03.004.
- 21 Shao Y., Xu F., Sun X. et al. Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (*Oryza sativa* L.) grains at four stages of development after flowering. *Food Chemistry*. 2014. vol. 143. pp. 90–96. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.07.113.
- 22 Stanley-Foreman Z. Plant milks are pushing for further innovation in specialty coffee. 2025.
- 23 Yu J., Yu X., Wang Y. et al. Changes of polyphenols and their antioxidant activities in non-pigmented, red and black rice during in vitro digestion. *Food Chemistry: X*. 2024. vol. 24. article 101821. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101821.
- 24 Popova N.V. Evaluation of the effectiveness of the fermentation process of rice milk with a complex probiotic starter culture. In: *Science of SUSU: Proceedings of the 75th Scientific Conference. Sections of Natural Sciences*. Chelyabinsk: SUSU, 2023. pp. 19–21. (in Russian).
- 25 Boyarineva I.V., Derkanosova N.M., Vasilenko O.A. et al. Investigation of the biochemical activity of starter compositions enriched with propionic acid bacteria on various raw materials. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 180–186. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-180-186.
- 26 Irondi E.A., Adegoke B.M., Alamu E.O. et al. Plant-based milk substitutes: sources, production, and nutritional, nutraceutical and sensory qualities. *Frontiers in Food Science and Technology*. 2025. vol. 5. article 1593870. doi: 10.3389/frfst.2025.1593870.
- 27 Meta H., Sokra I., Somaly S. Comparative review of hedonic, descriptive, and discrimination sensory tests. 2026. vol.2. pp. 287–297. doi: 10.6084/m9.figshare.30937733.

Сведения об авторах

Валерий А. Ширяев аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, vashiryayev@itmo.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-4007-7795>

Максим С. Иванов аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, msivanov@itmo.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-5754-5026>

Наталья В. Яковченко к.т.н., факультет биотехнологий, Университет ИТМО, Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, nviakovchenko@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Valerii A. Shiriaev Postgraduate student, Faculty of, ITMO University, Lomonosova street 9, Saint, vashiryayev@itmo.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-4007-7795>

Maksim S. Ivanov Postgraduate student, Faculty of, ITMO University, Lomonosova street 9, Saint, msivanov@itmo.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-5754-5026>

Natalia V. Iakovchenko Cand. Sci. (Engin.), Faculty of, ITMO University, Lomonosova street 9, Saint, nviakovchenko@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/03/2026	После редакции 06/04/2026	Принята в печать 28/04/2026
Received 01/03/2026	Accepted in revised 06/04/2026	Accepted 28/04/2026