

Применение дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* и WildBrew Philly Sour™ рода *Lachancea* spp. в технологии ферментированного напитка из овса (*Avena sativa* L)

Владимир А. Иванов	¹	ivanov_vlaa@baltika.com	 0009-0001-3328-0550
Анастасия А. Иванова	¹	skorpyon96@mail.ru	 0000-0002-0214-6308
Анастасия С. Андреева	¹	aandreeva@itmo.ru	 0000-0001-6179-2265
Инна В. Новикова	²	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892

¹ Университет ИТМО, ул. Ломоносова 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Настоящее исследование посвящено масштабированию технологии производства функционального ферментированного напитка из овса, обогащенного β-глюканами. Работа была мотивирована растущим потребительским спросом на безалкогольные напитки на растительной основе и необходимостью преодоления технологических сложностей, связанных с высокой вязкостью и низким выходом экстракта при использовании овсяного сырья. Целью являлась адаптация лабораторной методики к производственным условиям с применением новых микробных продуцентов — пробиотических дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* и кислотообразующих дрожжей *Lachancea* spp. штамма WildBrew Philly Sour™. В процессе работы использовалось сусло, полученное из зерносмеси, содержащей 70% несоложеного овса и 30% ячменного солода, с применением комплекса отечественных ферментных препаратов для обеспечения высокой экстрактивности и удовлетворительной фильтруемости. Выход экстрактивных веществ составил 80,9%, что подтвердило эффективность выбранного режима затирания и ферментативной обработки. Контроль процесса фильтрации показал стабильность со средней скоростью 3,5 л/мин и мутностью, не превышающей 100 ед. ЕВС. Ферментация изучаемыми дрожжевыми культурами позволила получить два типа безалкогольных напитков. Напиток на основе *Lachancea* spp. характеризовался объемной долей спирта 0,49%, кислотностью 2,1 к. ед. и степенью сбраживания 6,41%. Напиток, ферментированный *S. cerevisiae* var. *boulardii*, показал более высокую степень сбраживания (12,2%) и объемную долю спирта 0,94%. Оба продукта сохранили высокое содержание β-глюканов (около 600 мг/л) и обладали сбалансированными органолептическими профилями. Таким образом, исследование демонстрирует успешную апробацию технологии и перспективность использования данных дрожжевых культур для создания новых функциональных напитков, отвечающих современным рыночным трендам.

Ключевые слова: масштабирование, овёс, ячменный солод, бета-глюканы, сусло, ферменты, экстрактивность, режим затирания, сухие вещества, фильтруемость, мутность, продуценты, ферментация, физико-химические свойства.

Application of yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* and WildBrew Philly Sour of the genus *Lachancea* spp. in the technology of fermented oat drink (*Avena sativa* L)

Vladimidr A. Ivanov	¹	ivanov_vlaa@baltika.com	 0009-0001-3328-0550
Anastasia A. Ivanova	¹	skorpyon96@mail.ru	 0000-0002-0214-6308
Anastasia S. Andreeva	¹	aandreeva@itmo.ru	 0000-0001-6179-2265
Inna V. Novikova	²	noviv@list.ru	 0000-0002-2360-5892

¹ ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. This study focuses on scaling up the technology for producing a functional fermented oat-based beverage enriched with β-glucans. The work was motivated by growing consumer demand for non-alcoholic, plant-based drinks and the need to overcome technological challenges associated with the high viscosity and low extract yield of oat raw materials. The objective was to adapt a laboratory method to industrial conditions using novel microbial starters—the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* and the acid-forming yeast *Lachancea* spp. strain WildBrew Philly Sour™. The work utilized a wort obtained from a grain bill containing 70% unmalted oats and 30% barley malt, with the application of a complex of domestic enzyme preparations to ensure high extractability and satisfactory filterability. The yield of extractive substances reached 80.9%, confirming the efficiency of the chosen mashing regime and enzymatic treatment. Monitoring of the filtration process demonstrated its stability, with an average speed of 3.5 l/min and turbidity not exceeding 100 EBC units. Fermentation with the studied yeast cultures yielded two types of non-alcoholic beverages. The beverage based on *Lachancea* spp. was characterized by an alcohol by volume of 0.49%, an acidity of 2.1 c.u., and a real degree of fermentation of 6.41%. The beverage fermented with *S. cerevisiae* var. *boulardii* showed a higher degree of fermentation (12.2%) and an alcohol by volume of 0.94%. Both products retained a high content of β-glucans (approximately 600 mg/l) and possessed balanced organoleptic profiles. Thus, the research demonstrates the successful pilot testing of the technology and the promise of using these yeast cultures to create new functional beverages that meet current market trends.

Keywords: scaling, oats, barley malt, beta-glucans, wort, enzymes, extractivity, mashing mode, dry substances, filterability, turbidity, producers, fermentation, physicochemical properties.

Для цитирования

Иванов В.А., Иванова А.А., Андреева А.С., Новикова И.В. Применение дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* и WildBrew Philly Sour™ рода *Lachancea* spp. в технологии ферментированного напитка из овса (*Avena sativa* L) // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 2. С. 116–125. doi:10.20914/2310-1202-2025-2-116-125

For citation

Ivanov V.A., Ivanova A.A., Andreeva A.S., Novikova I.V. Application of yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* and WildBrew Philly Sour of the genus *Lachancea* spp. in the technology of fermented oat drink (*Avena sativa* L). Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 2. pp. 116–125. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-2-116-125

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

Введение

Согласно оценкам компании BusinesStat [3,4] в период с 2019 по 2023 годы объем продаж прохладительных напитков (таблица 1) в России, включая квас, сладкие безалкогольные напитки, чайные и энергетические напитки, увеличился на 34,2%, что соответствует росту с 7 до 9,4 млрд л. В частности, производство кваса (таблица 2) за тот же период возросло на 28,3%, увеличившись с 610,4 до 783,2 млн л.

Таблица 1.
Продажи прохладительных напитков в России
в 2019–2023 млн/л

Table 1.
Sales of soft drinks in Russia in 2019–2023 mln/l

Параметр Index	2019	2020	2021	2022	2023
Объем продаж, млн л Sales volume, million liters	7 011,17	7 220,08	8 411,39	9 042,19	9 408,4
Динамика (% к предыдущему году) Dynamics (% of previous year)	-	3,0	16,5	7,5	4,1

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает динамику производства кваса в России в период с 2019 по 2023 годы. Следует отметить, что в 2022 и 2023 годах фиксируется снижение объемов производства, составившее -1,8% и -0,2% соответственно (таблица 2). Эти данные могут отражать различные факторы, оказывающие влияние на спрос и предложение кваса, включая изменения в потребительских предпочтениях, конкуренцию с другими безалкогольными напитками и экономические условия.

Таблица 2.
Производство кваса в России в 2019–2023 млн/л

Table 2.
Kvass production in Russia in 2019–2023 mln/l

Параметр Index	2019	2020	2021	2022	2023
Объем производства, млн л Production volume, million l	610,4	638,1	799,6	784,9	783,2
Динамика (% к предыдущему году) Dynamics (% of previous year)	-	4,5	25,3	-1,8	-0,2

В последние годы все более популярными становятся ферментированные безалкогольные напитки на растительной основе, в частности из овса, которые соответствуют ГОСТ Р 70650–2023, ГОСТ 28188–2014, ГОСТ 31494–2012 и ГОСТ 34792–2021. Данные документы определяют требования к производству напитков из растительного сырья, в том числе из зерновых культур, что позволяет обеспечить высокое качество и безопасность конечной продукции. ГОСТ 34792–2021 устанавливает максимальную объемную долю этилового спирта в безалкогольных напитках.

Важно отметить, что напитки, произведенные из овса, содержат значительно более высокие уровни растворимых пищевых волокон (β -глюканов, арабиноксиланов, камедей и пектинов) по сравнению с напитками, полученными из других зерновых культур. В связи с этим напитки из овса имеют целый ряд положительных свойств [5, 6]: замедляют усвоение углеводов (снижает гликемический индекс) и жиров, снижают количество в крови общего холестерина и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), положительно влияют на микрофлору кишечника; обладают противовоспалительными и иммуностимулирующими свойствами и целый ряд других свойств.

Перечисленное выше свидетельствует о перспективности использования овса в производстве безалкогольных напитков на растительной основе. Однако, применение овса в производстве безалкогольных напитков осложняется рядом технологических трудностей [7, 8], наиболее существенными из которых являются высокие показатели вязкости и низкий выход экстракта. Эти показатели снижают эффективность процесса фильтрации затора, увеличивая потери в варочном цехе. В связи с этим возникает необходимость применения экзогенных ферментных препаратов. Так же для улучшения фильтруемости затора необходимо соблюдать баланс в купаже овса и ячменного солода, чтобы минимизировать негативные эффекты на процесс фильтрации затора. Особенно это сложно осуществлять в промышленных масштабах. Ранее в лабораторных условиях были разработаны режимы затирания, содержащие до 70% овса [1,2].

Интерес представляет также использование новых культур дрожжей для увеличения функциональных свойств напитков, в частности, использование пробиотических дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii* и кислотообразующих дрожжей рода *Lachancea* spp. штамма WildBrew Philly Sour™.

Цель исследования – получение ферментированного напитка из овса с пробиотическими и кислотообразующими дрожжами, а также с высоким содержанием β -глюканов на предприятии малой мощности. В соответствии с поставленной целью решали следующие задачи:

Масштабировать процесс получения овсяного суслу из 70% несоложенного овса и 30% ячменного солода с использованием экзогенных ферментных препаратов отечественного производства (Глюколюкс МАКС, Амилолюкс АТС Комплекс, и Агроксил Плюс);

Исследовать физико-химические показатели суслу (экстрактивность, фильтруемость, мутность);

Изучить физико-химические и органолептические свойства напитков, ферментированных дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* и дрожжи рода *Lachancea* spp.

Материалы и методы

Материалами исследования являлись: ячменный солод (солод пивоваренный светлый ячменный 1 класса высшего сорта 2022 год выпуска), который соответствует требованиям по качеству и пищевой безопасности ГОСТ 29294–2021. Несоложенный материал – овёс

плёчатый *Avena sativa* L. (2023 год урожая) – соответствует требованиям по качеству и пищевой безопасности ТР ТС 015/2011, ТР ТС 022/2011, ГОСТ 28673–2019.

Для получения овсяно-ячменного сусла использовали экзогенные ферментные препараты (ФП) российских биоконпаний. Характеристика ферментных препаратов, физико-химические условия проявления оптимальной активности и рекомендуемые дозировки для получения овсяно-ячменного сусла приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристика ферментных препаратов

Table 3.

Characteristics of enzyme preparations

Ферментный препарат Enzyme preparation	Активность Activity	Активность основного фермента Activity of the main enzyme	Оптимальные условия для проявления 80–100% активности Optimum conditions for 80–100% activity		Рекомендуемая дозировка, г ФП/кг засыпи Recommended dosage, g EP/kg of feed
			t, °C	pH	
Глюколюкс МАКС	Глюкоамилазная Glucosylase	13 000 ед./мл	50–60	3,5–6,5	0,23–0,35
	Альфа-амилазная Alpha-amylase	1 500 ед./мл			
Амилотекс АТС Комплекс	Альфа-амилазная, термостабильная Alpha-amylase, heat-stable	27 600 ед./мл	80–90	4,7–6,5	1–1,3
Агроксил Плюс	ксилазная xylanase	4 000 ед./г	45–55	4,0–4,5	Нет данных n.d.
	целлюлолитическая cellulolytic	500 ед./г			
	β-глюканазная β-glucanase	500 ед./г			

Стартовыми культурами являлись пробиотические дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925 (БРЦ ВКПМ, Россия). Данный штамм предназначен для создания функциональных напитков [9]. Оптимальная температура для ферментации составляет 25–30 °C. Также использовали дрожжи штамма WildBrew Philly Sour™ (Lallemand, Канада) рода *Lachancea* spp., продуцирующие умеренное количество молочной кислоты в интервале температур 15–25 °C.

Влажность овса и солода определяли автоматическим анализатором влажности Halogen Moisture Analyzer HR73 (Mettler Toledo). Измерения проводились при температуре 105 °C методом высушивания до достижения постоянной массы (Analytica-EBC. Method 4.2).

Оценка качества ячменного солода осуществлялась по методу Analytica-EBC. Method 4.5.1. Массовую долю сухих веществ в конгрессном сусле (Analytica-EBC. Method 4.5.1; ГОСТ 29294–2021) измеряли автоматическим анализатором сусла и пива (Alcolyzer, Anton Paar DMA 4500). Диастатическую силу определяли по методу Виндиша–Кольбаха (ВК; Analytica-EBC. Method 4.12.1).

Проведение оценки экстрактивности несоложенного овса осуществляли методом растворения экстрактивных веществ овса под действием ферментов ячменного солода (Analytica-EBC. Method 6.3).

Количественное содержание β-глюкана определяли спектрофотометрически (Analytica-EBC. Method 4.16.3) с использованием тест-системы Enzytec™ Color GlucaTest® на спектрофотометре UV-2501 PC (Shimadzu), с длиной волны 550 нм.

Мутность сусла определяли нефелометрическим методом на мутномере LabScat 2 (Sigrist-Photometer AG). Измерение мутности производили при угле преломления 90° и 25°.

Определение массовой доли этилового спирта, действительного экстракта, действительной степени сбраживания (RDF) и массовой доли сухих веществ в начальном сусле (Analytica-EBC. Method 8.3; ГОСТ 12787–2021) измеряли автоматическим анализатором сусла и пива (Alcolyzer, Anton Paar DMA 4500). Образцы продуктов ферментации дополнительно дегазировали в течение 20 минут (универсальный перемешиватель, 150 об/мин), затем все образцы фильтровали через бумажный фильтр (ФС-3 средней фильтрации), чтобы получить примерно 50 мл фильтрата и приводили к температуре 20 °C.

Кислотность определяли путем титрования титрованием пробы с фенолфталеином (ГОСТ 12788–87).

Определение концентрации дрожжевых клеток в посевном материале и бродящем пиве проводили с помощью камеры Горяева [10].

Промышленный эксперимент проводили на мини-пивзаводе. Вместимость суслотарочного котла составляла 530 л. Процесс затирания соответствовал ранее установленным в лабораторных условиях параметрам (рис. 1).

Получение сусла. 70 кг пленчатого несоложенного овса и 30 кг ячменного солода тип А подвергали дроблению на четырех вальцовых дробилках для солода. Далее в заторный чан добавляли воду, нагретую до 65 °С объемом 120 л и производили дробление. Дробленый солод поступал в заторный чан по автоматической линии подачи с постоянным увлажнением помола (140 литров воды, температурой 65 °С). Время дробления составляло 20 мин, а скорость мешалки заторного чана составляла 60%. По прошествии 10 мин дробления зернопродуктов добавлялись ферментные препараты. Норма задачи ферментных препаратов составила: Глюколюкс МАКС (Сиббиофарм) – 240 г/гЛ; Амилолюкс АТС Комплекс (Сиббиофарм) – 240 г/гЛ; Агроксил Плюс (Агрофермент) – 180г/гЛ.

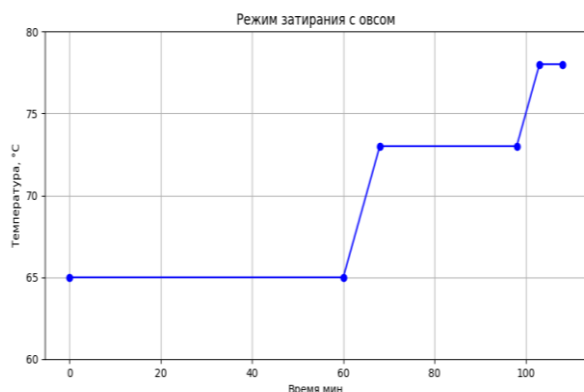


Рисунок 1. Режим затирания 70% несоложенного овса и 30% ячменного солода [1, 2]

Figure 1. Mashing mode of 70% unmalted oats and 30% barley malt [1, 2]

По окончании дробления линия промывалась 40 литрами воды (температура воды 65 °С) и приводилась первая пауза при 65 °С в течение 30 минут. Далее производили нагрев затора до 73 °С со скоростью 1 °С /мин. По достижении 73 °С проводили паузу в течение 30 минут. Далее затор нагревали до 78 °С со скоростью 1 °С /мин. По достижении заданной температуры проводили паузу в течение 5 минут. Затем затор перекачивали в фильтр чан и фильтровали, после чего отфильтрованное сусло поступало суслотарочный котёл.

По завершении фильтрации сусло подвергали кипячению в течение 60 минут, разделив процесс на три стадии:

1) Атмосферное кипячение (5 мин при 100 °С). Цель – удаление растворённого кислорода из системы.

2) Кипячение под избыточным давлением (30 мин при 0,15–0,25 бар, 101–103 °С). В начале этапа за 3 мин создают давление 0,20–0,25 бар, затем сбрасывают его до 0,10 бар. При понижении давления температура кипения падает, и в сусле образуются пузырьки пара (вторичный выпар), увеличивающие контактную площадь между газом и жидкостью. Это эффективно удаляет летучие ароматические соединения, оказывающие негативное влияние на ароматику (включая свободный ДМС), снижает термическую нагрузку на сусло и улучшает стабильность вкуса и аромата.

3) Атмосферное кипячение (25 мин при 100 °С). Цель – обеспечение достижения требуемого процента испарения сусла.

После окончания кипячения сусло перекачивали в вирпул и выдерживали его там в течение 20 мин, затем сусло охлаждали до 13 °С перекачивали в два танка. В момент перекачки в поток добавляли дрожжи. Основное брожение проводили при температуре 15 °С.

Фильтрация напитка. После окончания брожения напиток охлаждали до температуры 0 °С, перекачивали в буферный танк и фильтровали. Процесс фильтрации происходил в три этапа:

На первом этапе: в фильтр устанавливали 4 листа фильтровального картона PERMAdur S 400x400 ME UF/K для намывки кизельгурового слоя и для ультрафильтрации 9 листов фильтровального картона Nobra ST 7 № 400 x 400 с диаметром пор 0,4 мкм. Фильтр обрабатывали горячей водой 40 минут при температуре 75 °С и после охлаждали.

На втором этапе для намывки кизельгурового слоя использовали сначала грубую фракцию, а затем среднюю фракцию кизельгура. Намывка проводилась при давлении 3–4 бар и скоростью потока 20 л/мин.

На третьем этапе производилась фильтрация при давлении 2 бара, со скоростью потока 4 л/мин и подачей в поток средней фракции кизельгура. После прохождения ультрафильтрации напиток в потоке карбонизировался и собирался в ЦКТ.

Результаты представлены как среднее значение из трех или более независимых экспериментов. Данные были проанализированы с помощью однофакторного анализа дисперсии (ANOVA) [11]. Расчеты проводились на уровне значимости $p = 0.05$.

Результаты и их обсуждение

До начала затирания был проведен анализ основных физико-химических характеристик ячменного солода, включая содержание влаги, экстрактивность в пересчете на абсолютно сухое вещество (АСВ), вязкость, содержание β -глюканов и диастатическую силу. Полученные данные о физико-химических параметрах солода представлены в таблице 4.

Таблица 4.
Физико-химические характеристики
ячменного солода

Table 4.
Physical and chemical characteristics of barley malt

Показатель Index	Результаты испытаний Value	
	Ячменный солод Malt	Требования Norm
Массовая доля влаги, % Moisture content, %	4,1±0,2	<5,5
Экстрактивность (АСВ), % Extractivity (ASV), %	81,9±0,3	>81
Содержание β-глюкана, мг/л β-glucan content, mg/L	148±7,7	0–150
Диастатическая сила, ед./г Diastatic power, U/g	282±1,2	>250

На основании данных, представленных в таблице 4, можно сделать выводы относительно физико-химических характеристик ячменного солода: уровень влаги в образце ячменного солода в пределах допустимого значения, что свидетельствует о высоком качестве солода и его готовности к дальнейшей переработке, что является критически важным для обеспечения стабильности технологического процесса. Экстрактивность солода, содержание в конгрессном заторе β-глюкана, значение диастатической силы соответствуют необходимым требованиям. Таким образом, ячменный солод соответствуют допустимым показателям физико-химических характеристик, что подтверждает его целесообразность для использования в производстве безалкогольного напитка с высоким содержанием бета-глюканов.

В таблице 5 даны основные характеристики несоложѐнного овса, такие как уровень влаги в образце несоложѐнного овса, экстрактивность и содержание β-глюканав лабораторном сусле. Несоложѐнный овѐс демонстрирует оптимальные физико-химические характеристики, что подтверждает его целесообразность для использования в производстве напитков как источника питательных веществ и функциональных ингредиентов.

Таблица 5.
Физико-химическая характеристика
несоложѐнного овса

Table 5.
Physical and chemical characteristics of unmalted oats

Показатель Index	Результаты испытаний Value
Массовая доля влаги, % Moisture content, %	8,9±0,1
Экстрактивность на АСВ, % Extractivity on ASV, %	49,0±0,3
Содержание β-глюкана, мг/л β-glucan content, mg/L	810±6,5

Оптимальный процесс фильтрации затора.

На основании рисунка 2, можно сделать следующие заключения: процесс фильтрации начнется эффективно, о чем свидетельствует быстрое снижение мутности в начале фильтрации. Сусло фильтруется стабильно, без значительных скачков давления и повышения мутности с постепенным возрастанием скорости фильтрации, средняя скорость фильтрации составила 3,5 литра в минуту. Наблюдается высокое начальное значение мутности, которое быстро снижается. Фильтрация останавливается при значении мутности около 100 ед. ЕВС. Первое сусло фильтруется без резких скачков скорости потока и мутности (экстрактивность первого сусла составила 11,5%). После того как 220 л первого сусла было отфильтровано, в фильр-чан добавляется промывная вода в объеме 120 л. Мутность отфильтрованного сусла постепенно возрастает с течением фильтрации (до 145 ед. ЕВС), повышение разности давления подситового и надситового пространства составляет до 250 мм рт. ст. Такой характер изменений параметров указывает на типичный процесс фильтрации затора, где начальная фаза характеризуется формированием стабильного фильтрационного слоя и низкой мутностью отфильтрованного сусла, а последующее добавление промывной воды приводит к постепенному разрушению фильтрационного слоя, увеличению скорости фильтрации за счет снижения вязкости жидкости, но с сопутствующим увеличением мутности сусла. Это показывает, что оптимальный режим фильтрации был достигнут в середине процесса, когда скорость фильтрации была достаточно высокой, а мутность оставалась низкой. Последующая промывка, хотя и позволила извлечь больше экстракта, но привела к снижению качества фильтрации.

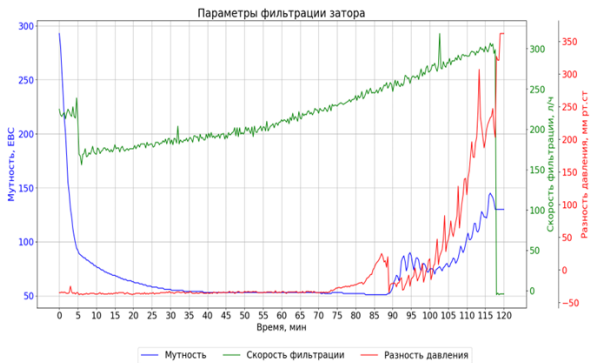


Рисунок 2. График фильтрации
Figure 2. Filtering graph

Фильтрация заканчивается, когда объем фильтрата составляет 420 л (экстрактивность 11%), экстрактивность промывной воды составляет 7%. Время фильтрации соответствует 117–120 мин.

Выход экстрактивных веществ от общего содержания экстрактивных веществ в смеси 70% несоложенного овса и 30% ячменного солода составляет 80,9%, что говорит о достаточно высокой эффективности процесса затирания и фильтрации.

Завершив фильтрацию сусло кипятили 60 минут и по окончании кипячения объем сусла составил 380 л, а массовая доля сухих веществ – 12,1%. Затем горячее сусло перекачали в вирпул и осветляли в течение 20 мин.

Ферментация овсяно-солодового сусла.

После осветления в вирпуле сусло охлаждали до 13 °С и инокулировали дрожжами *Lachancea spp.* (ЦКТ № 1) и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* (ЦКТ № 2) из расчета 3 млн клеток/мл. Основное брожение проводили при температуре 15 °С. Изменения физико-химических показателей ферментации показаны в таблице 6 и 7.

Таблица 6.

Физико-химические и микробиологические показатели при ферментации овсяно-ячменного сусла дрожжами рода *Lachancea spp.*

Table 6.

Physicochemical and microbiological parameters during fermentation of oat-barley wort by yeast of the genus *Lachancea spp.*

Параметры	Продолжительность ферментации (ЦКТ № 1) Brew duration					
	0	18	42	45	48	65
Объемная доля спирта, % Alcohol by volume, %	0	0,02	0,2	0,26	0,40	0,57
Экстрактивность начального сусла, % Original wort extract, %	12,15	12,13	12,12	12,09	12,10	12,04
Действительная степень сбраживания, % Actual fermentation rate, %	0,02	0,24	2,60	3,36	5,11	7,31
pH	5,70	5,75	5,44	5,17	5,10	5,05
Кислотность, к.ед. Acidity, kJ	1,1	1,1	1,5	2,0	2,1	2,2
Концентрация дрожжей, млн клеток / мл Yeast concentration, million cells/ml	3,0	3,0	11,4	13,5	12,2	5,1
Нежизнеспособных клеток, % Non-viable cells, %	7,0	8,0	2,8	2,6	2,7	2,1
Температура в ЦКТ, °С Temperature in the fermenter, °C	13	15	15	15	7	1
Давление, бар Pressure, bar	0	0	0	0,7	0,7	0,7

Таблица 7.

Физико-химические и микробиологические показатели при ферментации овсяно-ячменного сусла дрожжами *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii*

Table 7.

Physicochemical and microbiological parameters during fermentation of oat-barley wort by *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii*

Показатели	Продолжительность ферментации (ЦКТ № 2) Brew duration					
	0	18	42	45	48	65
Объемная доля спирта, % Alcohol by volume, %	0,01	0,05	0,31	0,51	0,71	0,95
Экстрактивность начального сусла, % Original wort extract, %	12,18	12,17	12,12	12,06	12,02	12,02
Действительная степень сбраживания, % Actual fermentation rate, %	0,03	0,68	4,02	6,65	9,12	12,2
pH	5,61	5,65	5,28	5,12	4,94	4,87
Кислотность, к.ед. Acidity, kJ	1,1	1,1	1,7	1,9	2,2	2,3
Концентрация дрожжей, млн клеток / мл Yeast concentration, million cells/ml	3,0	3,5	28,2	31,1	29,9	20,1
Нежизнеспособных клеток, % Non-viable cells, %	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
Температура в ЦКТ, °С Temperature in the fermenter, °C	13	15	15	11	9	1
Давление, бар Pressure, bar	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7

По прошествии 45 часов брожения в ЦКТ № 1 содержание объемной доли спирта составило 0,26% при этом концентрация дрожжевых клеток составляла 13,5 млн/мл. Основываясь на этих данных ЦКТ № 1, был поставлен на охлаждение до 0 °С. По прошествии 65 часов от начала брожения температура танка опустилась до 1 °С, объемная доля спирта достигла 0,57%, а концентрация дрожжевых клеток упала до 5,1 млн/мл. На основании данных, представленных в таблице 6, можно сделать выводы о том, что при использовании дрожжей рода *Lachancea spp.*: объемная доля спирта

увеличивается с течением времени, начиная с 0% и достигая 0,57% к 65-му часу брожения, что свидетельствует о медленном процессе ферментации, в ходе которого дрожжи медленно превращают сахара в спирт. Действительная степень сбраживания увеличивается на 7,3% по мере продолжения брожения, таким образом, подтверждает активность дрожжей в преобразовании сахаров в спирт. Значения pH снижаются с 5,70 до 5,05, при этом кислотность возрастает с 1,1 до 2,2 к.ед., что связано с образованием органических кислот в ходе метаболизма дрожжей. Происходит значительное

увеличение концентрации дрожжевых клеток с начального показателя 3,0 млн/мл в 4,5 раза в течение первых 48 часов, после чего при охлаждении танка происходит резкое снижение в 2,6 раза к 65-му часу, это может свидетельствовать о завершении активной фазы брожения и осаждении дрожжей. Процент нежизнеспособных клеток остается относительно низким, колеблясь в пределах 2–8%. Таким образом, на основании данных заметно, что процесс брожения с использованием дрожжей рода *Lachancea spp.* проходит с определенными изменениями в характеристиках сусла и активности клеток, с низкой степенью сбраживания и с низкой объемной долей спирта позволяющая получить ферментированный безалкогольный напиток с содержанием спирта менее 0,5%

По прошествии 42 часов с начала брожения в ЦКТ № 2 содержание объемной доли спирта составило 0,31% при этом концентрация дрожжевых клеток составляла 28,2 млн/мл. Основываясь на этих данных ЦКТ № 2, был поставлен на охлаждение до 0 °С. По прошествии 65 часов от начала брожения температура танка опустилась до 1 °С, объемная доля спирта достигла 0,95%, а концентрация дрожжевых клеток упала до 20,1 млн/мл. На основании данных, представленных в таблице 7, с использованием дрожжей *S. cerevisiae var. boulandii*, можно сделать выводы: объемная доля спирта увеличивается с 0,01% до 0,95% к 65-му часу, что указывает на умеренный процесс ферментации; Действительная степень сбраживания возрастает с 0,03% до 12%. Уровень pH снижается с 5,6 до 4,9, в то время как кислотность повышается с 1,1 до 2,3 к. ед. Концентрация клеток увеличивается до 31 млн/мл к 48-му часу. Процент нежизнеспособных клеток остается очень низким (в пределах 0,5%), что свидетельствует о хорошей жизнеспособности дрожжей на протяжении всего процесса ферментации.

Процесс брожения с использованием *S. cerevisiae var. boulandii* демонстрирует более высокую активность по сравнению с *Lachancea spp.*, однако использование этих дрожжей также позволяет получить ферментированный безалкогольный напиток с содержанием спирта менее 1,2%.

Физико-химические показатели ферментированных напитков. По окончании фильтрации напиток проверялся на содержание кислорода (требуемое значение <100 ppm) и углекислоты (требуемое значение 4,8–5,3 г/л) и разливался на автоматической линии розлива. Готовая продукция пастеризовалась в погружном пастеризаторе с температурой пастеризации 61–64 °С в течение 40 мин (130 ед. пастеризации). Показатели готового напитка показаны в таблице 8.

Таблица 8.

Физико-химические показатели
ферментированных напитков

Table 8.

Physical and chemical parameters
of fermented beverages

Показатели Index	Стартовые культуры Yeasts	
	<i>Lachancea spp.</i>	<i>S. cerevisiae var. boulandii</i>
Объемная доля спирта, % Alcohol by volume, %	0,49	0,94
Экстрактивность начального сусла, % Original wort extract, %	11,90	12,06
Действительная степень сбраживания, % Actual fermentation rate, %	6,41	12,20
pH	5,02	4,89
Кислотность, к.ед. Acidity, c.u.	2,1	2,3
β-глюкан, мг/л β-glucan, mg/l	600	588
Цвет, ед. EBC Color, EBC units	9,0	9,6
Мутность 90°, ед. EBC Turbidity at 90°, EBC units	0,21	0,22

На основании данных, представленных в таблице 8, можно отметить, что объемная доля спирта в готовом напитке, произведенном с использованием *S. cerevisiae var. boulandii*, составляет 0,94%, что почти в 2 раза выше, чем в напитке на основе *Lachancea spp.* 0,49%. Действительная степень сбраживания превышает почти в 2 раза данный показатель, в связи с более высокой активностью дрожжей *S. boulandii*. Содержание β-глюкана в напитках находятся примерно на одинаковом уровне. Цвет готового напитка в на основе *S. cerevisiae var. boulandii* (9,6 ед. EBC) немного выше, чем на основе *Lachancea spp.* (9,0 ед. EBC), мутность также незначительно отличается.

Каждый образец напитка дегустировали профессиональные дегустаторы, которые оценивали его вкусовые и ароматические показатели по пятибалльной шкале. Все образцы были одинаковой температуры – 10 градусов. Профили готовых напитков показаны на рисунках 3 и 4.

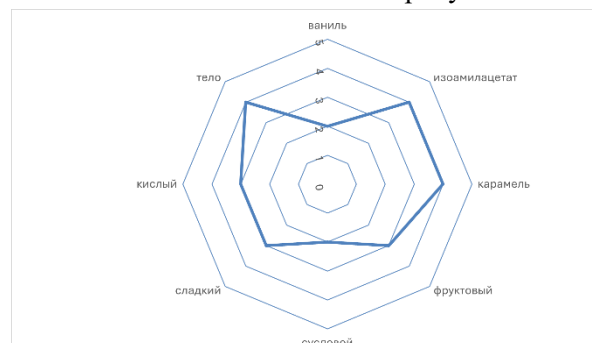


Рисунок 3. Профиль готового напитка со штаммом *Lachancea spp.*

Figure 3. Profile of the finished drink with the *Lachancea spp* strain.

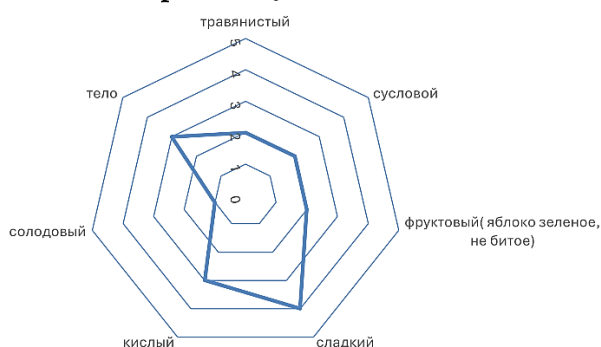


Рисунок 4. Профиль готового напитка со штаммом *S. cerevisiae var. bouldardii*

Figure 4. Profile of the finished drink with the *S. cerevisiae var. bouldardii* strain

Заключение

В производственных условиях с помощью ферментных препаратов Глюколюкс МАКС, Амилолюкс АТС Комплекс, Агроксил Плюс было получено сусло из 70% овса и 30% ячменного

солода с высоким выходом экстракта 80,90% с содержанием β -глюканов $810 \pm 6,5$ мг/л. Обычно этот показатель составляет 250–350 мг/л. Была достигнута стабильность фильтрации затора. Средняя скорость фильтрации составила 3,5 л/мин, мутность не превышала 100 ед. ЕВС.

Ферментированные с применением *Lachancea spp.* и *S. cerevisiae var. bouldardii* напитки содержали в среднем около 600 мг/л β -глюканов, что указывает на их функциональные свойства. Оба напитка относятся к безалкогольным продуктам, имеют разный уровень этанола, титруемых кислот и характеризуются оригинальными органолептическими свойствами.

Продемонстрировано, что применение пробиотических и кислотообразующих дрожжей открывает перспективы для создания новых продуктов с улучшенными функциональными свойствами, что особенно актуально в условиях роста спроса на безалкогольные напитки.

Литература

- 1 Ivanov V., Meledina T., Ivanova A. Development of technology for the oat wort's production using over 50% husked oat malt with the application of enzymatic preparations // BIO Web of Conferences. 2025. Vol. 172. 03002. doi: 10.1051/bioconf/202517203002
- 2 Меледина Т.В., Иванова В.А., Федоров А.В. и др. Исследование влияния ферментных препаратов на физико-химические свойства ферментализованного овса // Вестник международной академии холода. 2020. № 2. С. 45–51.
- 3 Анализ рынка прохладительных напитков в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг. // Businessstat. URL: <https://businessstat.ru> (дата обращения: 04.05.2025).
- 4 Анализ рынка кваса в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг. // Businessstat. URL: <https://businessstat.ru> (дата обращения: 04.05.2025).
- 5 Federal Register. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1997-01-23/pdf/97-880.pdf> (дата обращения: 05.05.2025).
- 6 Bai J., Li Y., Zhang Y. et al. Physiological functionalities and mechanisms of β -glucans // Trends in Food Science & Technology. 2019. Vol. 88. P. 57–66. doi: 10.1016/j.tifs.2019.03.010
- 7 Zdaniewicz M., Pater A., Hrabia O. et al. The effect of different oat (*Avena sativa* L.) malt contents in a top-fermented beer recipe on the brewing process performance and product quality // Journal of Cereal Science. 2021. Vol. 101. 103301. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103301
- 8 Ciocan M.E., Salamon R.V., Ambrus Á. et al. Use of unmalted and malted buckwheat in brewing // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. № 4. 2199. doi: 10.3390/app13042199
- 9 Manshin D., Meledina T.V., Britvina T. et al. Comparison of the yeast *Saccharomyces cerevisiae var. bouldardii* and top-fermenting brewing yeast strains during the fermentation of model nutrient media and beer wort // Agronomy Research. 2022. Vol. 20. № 3. P. 625–636. doi: 10.15159/AR.22.031
- 10 Захаров И.А., Инге-Вечтомов С.Г., Королев В.Г. Сборник методик по генетике дрожжей-сахаромицетов. Л.: Наука, 1984. 215 с.
- 11 Bertinetto C., Engel J., Jansen J. ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review // Analytica Chimica Acta: X. 2020. Vol. 6. 100061. doi: 10.1016/j.acax.2020.100061
- 12 Leo V.V., Viswanath V., Deka P. et al. *Saccharomyces* and Their Potential Applications in Food and Food Processing Industries // Industrially Important Fungi for Sustainable Development: Volume 1: Biodiversity and Ecological Perspectives. Cham: Springer International Publishing, 2021. P. 393–427. doi: 10.1007/978-3-030-67561-5_11
- 13 Schwab C., Bambace M.F. Traditional and Novel Applications of Sourdough Microbes in Northern Europe and the Baltic Countries // Sourdough Microbiota and Starter Cultures for Industry. Cham: Springer International Publishing, 2024. P. 93–129. doi: 10.1007/978-3-031-48604-3_5
- 14 Ansari F., Alian Samakkhah S., Bahadori A. et al. Health-promoting properties of *Saccharomyces cerevisiae var. bouldardii* as a probiotic; characteristics, isolation, and applications in dairy products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. Vol. 63. № 4. P. 457–485. doi: 10.1080/10408398.2021.1951655
- 15 Попова Н.В., Потороко И.Ю., Калинина И.В. и др. Возможность использования ультразвукового воздействия для регулирования функциональных свойств пророщенного зерна *Avena sativa* L. // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 196–201. doi: 10.20914/2310-1202-2020-4-196-201

- 16 Маслов А.В., Мингалева З.Ш., Старовойтова О.В. и др. Перспективы применения комплексной добавки для улучшения биотехнологических характеристик дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 96–101. doi: 10.20914/2310-1202-2024-3-96-101
- 17 Reid J.E.S.J., Yakubov G.E., Lawrence S.J. Non-starch polysaccharides in beer and brewing: A review of their occurrence and significance // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. Vol. 64. № 3. P. 837–851. doi: 10.1080/10408398.2022.2109585
- 18 Krstanović V., Habschied K., Mastanjević K. et al. The Influence of Milling Granulation on The Proportion of Fermentable and Non-Fermentable Ingredients in Mash Obtained from Mixed Endosperm Wheat // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. № 14. 5985. doi: 10.3390/app14145985
- 19 Степанова А.А., Асякина Л.К., Ларичев Т.А. и др. Ферментированные напитки: источники их получения и видовой состав микробных сообществ (обзор) // АПК России. 2023. Т. 30. № 5. С. 703–711. doi: 10.55934/2587-8824-2023-30-5-703-711
- 20 Yu Q., Qian J., Guo Y. et al. Applicable strains, processing techniques and health benefits of fermented oat beverages: A review // *Foods*. 2023. Vol. 12. № 8. 1708. doi: 10.3390/foods12081708
- 21 Díaz A.B., Durán-Guerrero E., Valiente S. et al. Development and characterization of probiotic beers with *Saccharomyces boulardii* as an alternative to conventional brewer's yeast // *Foods*. 2023. Vol. 12. № 15. 2912. doi: 10.3390/foods12152912

References

- 1 Ivanov V., Meledina T., Ivanova A. Development of technology for the oat wort's production using over 50% husked oat malt with the application of enzymatic preparations. *BIO Web of Conferences*. 2025. vol. 172. p. 03002. doi: 10.1051/bioconf/202517203002
- 2 Meledina T.V., Ivanova V.A., Fedorov A.V. et al. Investigation of the influence of enzyme preparations on the physicochemical properties of oat enzymolysates. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2020. no. 2. pp. 45–51. (in Russian)
- 3 Analysis of the soft drink market in Russia in 2020–2024, forecast for 2025–2029. *Businessstat*. URL: <https://businessstat.ru> (in Russian)
- 4 Analysis of the kvass market in Russia in 2020–2024, forecast for 2025–2029. *Businessstat*. URL: <https://businessstat.ru> (in Russian)
- 5 Federal Register. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1997-01-23/pdf/97-880.pdf>
- 6 Bai J., Li Y., Zhang Y. et al. Physiological functionalities and mechanisms of β -glucans. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. vol. 88. pp. 57–66. doi:10.1016/j.tifs.2019.03.010
- 7 Zdaniewicz M., Pater A., Hrabia O. et al. The effect of different oat (*Avena sativa* L) malt contents in a top-fermented beer recipe on the brewing process performance and product quality. *Journal of Cereal Science*. 2021. vol. 101. p. 103301. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103301
- 8 Ciocan M.E., Salamon R.V., Ambrus Á. et al. Use of unmalted and malted buckwheat in brewing. *Applied Sciences*. 2023. vol. 13. no. 4. p. 2199. doi:10.3390/app13042199
- 9 Manshin D., Meledina T.V., Britvina T. et al. Comparison of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* and top-fermenting brewing yeast strains during the fermentation of model nutrient media and beer wort. *Agronomy Research*. 2022. vol. 20. no. 3. pp. 625–636. doi:10.1515/AR.22.031
- 10 Zakharov I.A., Inge-Vechtomov S.G., Korolev V.G. Collection of methods for the genetics of *Saccharomyces* yeasts. Leningrad: Nauka, 1984. 215 p. (in Russian)
- 11 Bertinetto C., Engel J., Jansen J. ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review. *Analytica Chimica Acta*. 2020. vol. 6. p. 100061. doi:10.1016/j.acax.2020.100061
- 12 Leo V.V., Viswanath V., Deka P. et al. *Saccharomyces* and Their Potential Applications in Food and Food Processing Industries. Industrially Important Fungi for Sustainable Development: Volume 1: Biodiversity and Ecological Perspectives. Cham: Springer International Publishing, 2021. pp. 393–427. doi:10.1007/978-3-030-67561-5_11
- 13 Schwab C., Bambace M.F. Traditional and Novel Applications of Sourdough Microbes in Northern Europe and the Baltic Countries. *Sourdough Microbiota and Starter Cultures for Industry*. Cham: Springer International Publishing, 2024. pp. 93–129. doi: 10.1007/978-3-031-48604-3_5
- 14 Ansari F., Alian Samakkhah S., Bahadori A. et al. Health-promoting properties of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* as a probiotic; characteristics, isolation, and applications in dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. vol. 63. no. 4. pp. 457–485. doi: 10.1080/10408398.2021.1951655
- 15 Popova N.V., Potoroko I.Y., Kalinina I.V. et al. Possibility of using ultrasonic treatment to regulate the functional properties of sprouted *Avena sativa* L. grain. *Bulletin of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 196–201. doi: 10.20914/2310-1202-2020-4-196-201 (in Russian)
- 16 Maslov A.V., Mingaleeva Z.Sh., Starovoitova O.V. et al. Prospects for the use of a complex additive to improve the biotechnological characteristics of *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Bulletin of VSUET*. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 96–101. doi: 10.20914/2310-1202-2024-3-96-101 (in Russian)
- 17 Reid J.E.S.J., Yakubov G.E., Lawrence S.J. Non-starch polysaccharides in beer and brewing: A review of their occurrence and significance. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. vol. 64. no. 3. pp. 837–851. doi: 10.1080/10408398.2022.2109585
- 18 Krstanović V., Habschied K., Mastanjević K. et al. The Influence of Milling Granulation on The Proportion of Fermentable and Non-Fermentable Ingredients in Mash Obtained from Mixed Endosperm Wheat. *Applied Sciences*. 2024. vol. 14. no. 14. p. 5985. doi: 10.3390/app14145985

19 Stepanova A.A., Asyakina L.K., Larichev T.A. et al. Fermented beverages: sources of their production and species composition of microbial communities (review). APK Russia. 2023. vol. 30. no. 5. pp. 703–711. doi: 10.55934/2587-8824-2023-30-5-703-711 (in Russian)

20 Yu Q., Qian J., Guo Y. et al. Applicable strains, processing techniques and health benefits of fermented oat beverages: A review. Foods. 2023. vol. 12. no. 8. p. 1708. doi:10.3390/foods12081708

21 Díaz A.B., Durán-Guerrero E., Valiente S. et al. Development and characterization of probiotic beers with *Saccharomyces boulardii* as an alternative to conventional brewer's yeast. Foods. 2023. vol. 12. no. 15. p. 2912. doi: 10.3390/foods12152912

Сведения об авторах

Владимир А. Иванов аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, ул. Ломоносова 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, ivanov_vlaa@baltika.com

 <https://orcid.org/0009-0001-3328-0550>

Анастасия А. Иванова аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, ул. Ломоносова 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, skorpyon96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0214-6308>

Анастасия С. Андреева доцент, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, ул. Ломоносова 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, aandreeva@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6179-2265>

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

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

Vladimirdr A. Ivanov graduate student, biotechnology faculty, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russia, ivanov_vlaa@baltika.com

 <https://orcid.org/0009-0001-3328-0550>

Anastasia A. Ivanova graduate student, biotechnology faculty, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russia, skorpyon96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0214-6308>

Anastasia S. Andreeva associate professor, biotechnology faculty, ITMO University, 9 Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russia, aandreeva@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6179-2265>

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, head of department, technologies for fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

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 29/04/2024	После редакции 20/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 29/04/2024	Accepted in revised 20/05/2024	Accepted 03/06/2024