Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-297-306 Обзорная статья/Review article
УДК 663.8:579.67 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Автохтонные российские сорта винограда в производстве ферментированных безалкогольных напитков: перспективы и биотехнологические аспекты ферментации с участием Gluconobacter oxydans. Краткий обзор

Александр Д. Снетков [1] sanyasha.00@gmail.com 0009-0007-4240-0300
Ирина В. Смотраева [1] smotraeva@itmo.ru 0000-0003-1255-832X
Петр Е. Баланов [1] balanov@itmo.ru 0000-0002-0610-9248

1 Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия

Аннотация. Рост интереса потребителей к продуктам региональной идентичности и функциональному питанию определяет перспективность ферментированных безалкогольных напитков на основе отечественного виноградного сырья. Целью обзора являлся комплексный анализ ресурсного потенциала российских автохтонных сортов винограда и биотехнологических возможностей Gluconobacter oxydans в производстве таких напитков. Рассмотрены публикации за 2018–2026 годы, найденные в базах PubMed, Springer, PubChem и Google Scholar. Охарактеризован правовой статус автохтонных сортов (Федеральный закон № 468-ФЗ): известно более 200 сортов, занимающих менее 2 % из 95 тыс. га российских виноградников. По данным SNP-генотипирования, семь из девяти изученных сортов образуют самостоятельные генетические кластеры, не родственные кавказским и европейским сортам. Показано, что автохтонное сырьё отличается высоким содержанием полифенолов (катехин, эпикатехин, процианидин B1), обусловливающих антиоксидантное и антимикробное действие. Описаны особенности метаболизма G. oxydans: мембраносвязанные дегидрогеназы, пентозофосфатный путь, неполное окисление сахаров и спиртов до глюконовой и уксусной кислот, устойчивость к ингибиторам растительных сред. Систематизированы параметры ферментации: температура 25–30 °C, pH 4,5–6,5, интенсивная аэрация, соотношение глюкозы и этанола; отмечена эффективность смешанных культур с дрожжами. Расширение площади плодоносящих виноградников на 35 % к 2030 году и рост рынка функциональных напитков примерно на 8,5 % в год создают предпосылки для опытно-промышленной апробации таких технологий.

Ключевые слова: автохтонные сорта, Vitis vinifera, ферментированные безалкогольные напитки, функциональные продукты, уксуснокислые бактерии, Gluconobacter oxydans, глюконовая кислота, полифенолы..

Autochthonous Russian Grape Varieties in the Production of Fermented Non-Alcoholic Beverages: Prospects and Biotechnological Aspects of Fermentation Involving Gluconobacter oxydans. A Brief Review

Aleksandr D. Snetkov [1] sanyasha.00@gmail.com 0009-0007-4240-0300
Irina V. Smotraeva [1] smotraeva@itmo.ru 0000-0003-1255-832X
Petr E. Balanov [1] balanov@itmo.ru 0000-0002-0610-9248

1 ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russia

Abstract. The growing consumer interest in products with regional identity and functional nutrition is driving the potential of fermented non-alcoholic beverages based on domestic grape raw materials. The aim of the review was to conduct a comprehensive analysis of the resource potential of Russian autochthonous grape varieties and the biotechnological capabilities of Gluconobacter oxydans in the production of such beverages. Publications from 2018 to 2026 found in the PubMed, Springer, PubChem, and Google Scholar databases were examined. The legal status of autochthonous varieties is characterized (Federal Law No. 468-FZ): more than 200 varieties are known, occupying less than 2 % of the 95,000 hectares of Russian vineyards. According to SNP genotyping data, seven out of nine studied varieties form independent genetic clusters that are not related to Caucasian and European varieties. It has been shown that autochthonous raw materials are characterized by a high content of polyphenols (catechin, epicatechin, procyanidin B1), which confer antioxidant and antimicrobial effects. The features of G. oxydans metabolism are described: membrane-bound dehydrogenases, the pentose phosphate pathway, incomplete oxidation of sugars and alcohols to gluconic and acetic acids, and resistance to inhibitors in plant media. The fermentation parameters have been systematized: temperature 25–30 °C, pH 4.5–6.5, intensive aeration, glucose-to-ethanol ratio; the effectiveness of mixed cultures with yeast has been noted. The expansion of the area of fruit-bearing vineyards by 35 % by 2030 and the growth of the functional beverage market by approximately 8.5 % per year create the prerequisites for experimental and industrial testing of such technologies.

Keywords: autochthonous varieties, Vitis vinifera, fermented non-alcoholic beverages, functional products, acetic acid bacteria, Gluconobacter oxydans, gluconic acid, polyphenols..

Для цитирования
Снетков А.Д., Смотраева И.В., Баланов П.Е. Автохтонные российские сорта винограда в производстве ферментированных безалкогольных напитков: перспективы и биотехнологические аспекты ферментации с участием Gluconobacter oxydans. Краткий обзор // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 297–306. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-297-306

For citation
Snetkov A.D., Smotraeva I.V., Balanov P.E. Autochthonous Russian Grape Varieties in the Production of Fermented Non-Alcoholic Beverages: Prospects and Biotechnological Aspects of Fermentation Involving Gluconobacter oxydans. A Brief Review. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 297–306. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-297-306

© 2026, Снетков А.Д. и др. / Snetkov A.D. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Современная пищевая промышленность переживает период активной трансформации, обусловленной одновременным усилением нескольких долгосрочных трендов. С одной стороны, потребители всё чаще отдают предпочтение продуктам с региональной идентичностью, натуральным происхождением и доказанной пользой для здоровья. С другой стороны, биотехнологические методы ферментации получают новый импульс развития благодаря расширению знаний о специализированных микроорганизмах и совершенствованию инструментов управления процессом. В контексте российского рынка пересечение этих двух тенденций открывает уникальную возможность: использовать богатейший потенциал отечественных автохтонных сортов винограда, носителей уникального терруара, для создания принципиально новых категорий ферментированных безалкогольных напитков.

Российское виноградарство переживает период возрождения. После десятилетий преобладания интернациональных сортов, таких как Каберне Совиньон, Шардоне, Рислинг, возрождается интерес к аборигенным сортам, формировавшимся в условиях конкретных экосистем на протяжении столетий [1,2]. Генетические исследования, проведённые в рамках деятельности Курчатовского геномного центра, показали, что большинство российских автохтонных сортов не имеют прямых аналогов ни в Европе, ни на Кавказе, формируя самостоятельные генетические кластеры на мировом дереве родства *Vitis vinifera* [3]. Это означает, что их химический и органолептический профиль принципиально отличается от широко известных международных сортов, делая их ценным и нераскрытым ресурсом для пищевых инноваций.

Параллельно нарастает интерес к категории функциональных напитков. Потребители, ориентированные на здоровый образ жизни, ищут продукты, которые не только утоляют жажду, но и обеспечивают организм биологически активными соединениями: органическими кислотами, полифенолами, пробиотическими метаболитами. Ферментированные безалкогольные напитки – комбуча, чайный гриб, фруктовые уксусы, кисломолочные аналоги занимают всё более заметное место на мировом рынке, демонстрируя устойчивый рост [4]. В России данный сегмент пока относительно свободен: по оценкам аналитиков, рынок функциональных напитков ежегодно прирастает на 8,5% и к 2024–2025 годам превысит 1 млрд рублей [5].

В этих условиях синтез двух направлений, а именно применения сырьевой базы автохтонных сортов и управляемых ферментационных технологий с использованием бактерий рода *Gluconobacter oxydans*, представляется особенно перспективным. Данные микроорганизмы обладают исключительной способностью к направленному неполному окислению углеводов и спиртов, что позволяет прецизионно формировать кислотный профиль конечного продукта, его органолептические свойства и микробиологическую стабильность [6]. Целью настоящей работы является комплексный анализ ресурсного потенциала российских автохтонных сортов винограда и биотехноло-гических возможностей *G. oxydans* в контексте производства ферментированных безалкогольных напитков.

Материалы и методы исследования

Для предоставления всестороннего обзора стратегий производства ферментированных безалкогольных напитков, были проанализированы последние исследования и обзорные статьи за период с 2018 по 2026 год. Поиск проводился по нескольким научным базам данных, включая PubMed, Springer, PubChem и Google Scholar, чтобы обеспечить широкий охват рецензируемых исследований.

Публикации были отобраны с использованием целевых ключевых слов и их комбинаций, таких как: автохтонные сорта винограда, ферментированные безалкогольные напитки, функциональные продукты, уксуснокислые бактерии, глюконовая кислота.

Критерии включения были сосредоточены на последних достижениях в области производства ферментированных и функциональных продуктов питания.

Результаты и обсуждение

Правовой статус и особенности состава российских автохтонных сортов винограда

Термин «автохтон» восходит к греческому «принадлежащий данной местности»; в латинской традиции его синоним «абориген». Применительно к виноградарству автохтонными называют сорта, стихийно сформировавшиеся в конкретном регионе и продолжившие там своё развитие. Российский Федеральный закон № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» [7] закрепляет следующую дефиницию: «Автохтонный (аборигенный) сорт винограда это сорт винограда вида *Vitis vinifera*, описанный в открытых источниках не позднее 1903 года под существующим наименованием, с характерными

органолептическими характеристиками и определённой территорией произрастания, расположенной в границах виноградо-винодельческих зон» [1, 8, 9]. Вид *Vitis vinifera* (европейский виноград), принадлежащий семейству *Vitaceae Juss*, насчитывает свыше 10 тыс. сортов, из которых лишь небольшая часть получила широкое международное распространение.

Ключевая особенность автохтонных сортов состоит в том, что их формирование происходит под непосредственным воздействием локального терруара: специфического сочетания почвы, климата, рельефа и биотических факторов. Это обусловливает уникальный биохимический состав ягод, включая характерный профиль органических кислот, спектр фенольных соединений, ароматические предшественники и минеральный профиль [10,11]. Перенос автохтонных сортов в иные природно-климатические условия с сохранением идентичных органолеп-тических свойств практически невозможен, что делает их незаменимыми носителями аутентичного вкуса конкретной местности [1].

Систематическое генетическое изучение российских аборигенных сортов началось только в 2020 году после создания Курчатовского геномного центра в рамках Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий. Девять российских сортов Vitis vinifera впервые были генотипированы с использованием 527 однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) [3]. Полученные данные были сопоставлены с профилями 783 мировых сортов. Результаты оказались неожиданными: вопреки данным ампелографических источников 1800–2012 годов, семь из девяти изученных сортов, в том числе Красностоп Золотовский, не обнаружили прямого родства ни с кавказскими, ни с европейскими сортами и сформировали самостоятельные кластеры на мировом дереве родства V. Vinifera [3].

Только два сорта Пухляковский Белый и Сибирьковый были идентифицированы как родственные зарубежным и очевидно импортированные в Российскую империю из Европы. Остальные семь сортов представляют собой самостоятельные генетические линии, не имеющие аналогов в мировом генофонде. Данный факт кардинально меняет представление о происхождении российских сортов и подчёркивает их исключительную ценность как уникального биологического ресурса, заслуживающего детального метаболомического и технологического изучения [3].

Научному сообществу известно более 200 аборигенных сортов винограда, произрастающих на территории России. По данным Северо-Кавказского НИИ садоводства и виноградарства, реальная цифра может быть выше ввиду не изученности ареалов ряда сортов [12]. Максимальное видовое разнообразие сосредоточено в Крыму (81 сорт), Дагестане (71), Ростовской области (55) и Краснодарском крае (11). Дополнительно два сорта зафиксированы в Волгоградской области и пять – в Астраханской. Совокупно аборигенные сорта занимают менее 2% от 95 000 га российских виноградников [3], что свидетельствует об огромном нереализованном потенциале их промышленного использования.

Кокур Белый (Крым) наиболее распространённый белый автохтонный сорт: площадь посадок составляет около 720 га, преимущественно в Судакской долине. Сорт созревает в конце октября при содержании сахара около 24%, отличается сбалансированной кислотностью, ароматом персика, мёда и жёлтых косточковых плодов [1, 13]. Красностоп Золотовский (Ростовская область, Краснодарский край) является главным красным автохтоном Дона, высокотанинный сорт с ароматом тёмной сливы, красной смородины и зелёного перца, занимающий около 512 га посадок [14]. Сибирьковый (Ростовская область) это белый сорт с характерным травяным ароматом; согласно генетическому анализу, является потомком европейских сортов. Цимлянский Чёрный древнейший автохтон Дона [15], использовавшийся ещё в период Азово-Донской торговли.

Один из ключевых показателей пищевой и технологической ценности автохтонных сортов содержание полифенольных соединений [16]. Сравнительный анализ антиоксидантных, антимикробных и фенольных характеристик экстрактов семян четырёх сортов Vitis vinifera (Каберне Совиньон, Марселан, Пино Нуар, Тамянка), выращенных в идентичных условиях, выявил суммарное содержание фенольных соединений (TPC) – 79,06 – 111,22 мг ГАЭ/г экстракта; ВЭЖХ-анализ выявил высокие концентрации катехина, эпикатехина и процианидина B1. Все исследованные экстракты продемонстрировали значительную антимикробную активность в отношении Staphylococcus aureus, Bacillus cereus и Escherichia coli [17].

Автохтонные сорта, в отличие от широко распространённых интернациональных, накапливают полифенолы в условиях длительной

адаптации к конкретному терруару, нередко с нестандартным составом почвы, повышенной инсоляцией или специфическим температурным режимом. Это потенциально обусловливает более высокое и разнообразное содержание флавоноидов, антоцианов и стильбенов (включая ресвератрол) по сравнению с культивируемыми в иных условиях интернациональными сортами. Богатый полифенольный фон автохтонного виноградного сока создаёт исходную матрицу, в которой ферментационные процессы могут приводить к дополнительному высвобождению и биотрансформации биологически активных соединений.

По прогнозам BusinesStat, в 2022–2026 годах площади виноградников в России будут последовательно расти. Ключевым драйвером является федеральный проект «Стимулирование развития виноградарства и виноделия», запущенный в 2022 году: его главная цель – увеличение площади плодоносящих виноградников на 35% к 2030 году [18]. Поправки к закону № 468-ФЗ [7], вступившие в силу 26 июня 2020 года, создали правовую основу для поддержки отечественного виноделия и стимулировали интерес производителей к аутентичным российским сортам.

Наращивание площадей под автохтонными сортами формирует растущую сырьевую базу для переработки виноградного сока. В этих условиях разработка и апробация новых технологий на основе ферментации с использованием специализированных микроорганизмов приобретает как научную, так и коммерческую актуальность.

Ферментированные фруктовые напитки относятся к числу древнейших продуктов питания, однако именно в последнее десятилетие они переживают ренессанс, на этот раз в формате функционального питания с научно обоснованными заявлениями о пользе для здоровья. Доказан функциональный потенциал безалкогольных ферментированных фруктовых напитков с точки зрения химического и нутритивного состава, влияния на здоровье человека, а также современных методов оптимизации биологически активных соединений в конечном продукте [4]. Авторы многих публикаций констатируют, что интерес к потреблению ферментированных напитков устойчиво возрастает вследствие осознания потребителями их позитивного влияния на здоровье, прежде всего благодаря содержанию биоактивных соединений и предполагаемому пробиотическому эффекту [19,20,21].

Аспекты ферментации виноградного сока с участием бактерий *Gluconobacter oxydans*

Уксуснокислое (ацетатное) брожение, реализуемое уксуснокислыми бактериями, лежит в основе производства самых разнообразных ферментированных продуктов: фруктовых уксусов, комбучи, водного кефира, кваса, традиционных региональных напитков. По имеющимся данным, уксуснокислые бактерии рода *Gluconobacter, Komagataeibacter* и *Acetobacter* вносят ключевой вклад в формирование профиля органических кислот, сенсорных характеристик и биологической активности таких продуктов [22]. При этом глюконовая кислота, являясь основным метаболитом *G. oxydans*, естественным образом присутствует во фруктах, растениях, вине и мёде, придавая мягкий кисловато-сладковатый вкус без резкой остроты, характерной для уксусной кислоты. Её накопление в ферментированном напитке положительно сказывается как на вкусовом профиле, так и на микробиологической стабильности продукта, что является ценным технологическим свойством [23,24].

На российском рынке сегмент функциональных напитков категории Health and Wellness (Smart Food) демонстрирует прирост порядка 8,5% в год на протяжении пяти лет, и по прогнозам аналитических компаний объём рынка превысит 1 млрд рублей в 2024–2025 годах [5]. При этом, согласно оценкам участников рынка, ниша ферментированных функциональных напитков с аутентичным российским характером фактически остаётся свободной. Это означает, что первые разработчики, сумевшие предложить продукт с убедительным региональным нарративом и доказанной функциональностью, получат значительное конкурентное преимущество.

Бактерии рода *Gluconobacter*, принадлежащие семейству *Acetobacteraceae*, представляют собой облигатных аэробов, грамотрицательных, палочковидных, ацидофильных микроорганизмов [6]. Их отличительная особенность это выраженная способность к неполному окислению углеводов и многоатомных спиртов с преимущественным накоплением продуктов окисления во внешней среде [25]. В отличие от большинства других уксуснокислых бактерий, *G. oxydans* не обладает полным набором ферментов цикла Кребса и не способен окислять уксусную кислоту до CO_2 и H_2O, что принципиально отличает его от *Acetobacter* и *Komagataeibacter*: продукты окисления накапливаются в среде практически количественно, не подвергаясь глубокой деградации [26].

Высокая метаболическая активность *G. oxydans* обусловлена уникальной системой мембраносвязанных дегидрогеназ, локализованных на внешней стороне цитоплазматической мембраны и сопряжённых с дыхательной цепью клетки. Эти ферменты, в том числе пирролохинолинхинон (PQQ) – зависимая глюкозодегидрогеназа (GDH) и полиольдегидрогеназы, обеспечивают быстрое периплазматическое окисление широкого спектра субстратов без предварительного их импорта в клетку [27]. Такая архитектура позволяет *G. oxydans* поддерживать высокую скорость превращения субстрата даже в присутствии ингибирующих соединений, типичных для сложных по составу растительных сред, включая виноградный сок.

Для углеродного метаболизма *G. oxydans* характерно ограниченное функционирование классического гликолиза, связанное с дефицитом фосфофруктокиназы; центральную роль в переработке глюкозы играет пентозофосфатный путь. Активность ферментов глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы и 6-фосфоглюконатдегидрогеназы обеспечивает образование восстановительного эквивалента NADPH и метаболических предшественников, необходимых для роста и биосинтетических процессов [26].

Уникальный метаболический потенциал *G. oxydans* активно используется в промышленной биотехнологии [28]. Ключевые промышленные применения данного микроорганизма охватывают производство L-аскорбиновой кислоты (витамина С) из D-сорбита через L-сорбозу, синтез противодиабетического препарата миглитол, получение D-глюконовой кислоты и её производных (2-кетоглюконовая, 5-кетоглюконовая, 2,5 – дикетоглюконовая кислоты) из D-глюкозы, а также производство дигидроксиацетона (ДГА) из глицерина [6]. Мировой рынок витамина С, в производстве которого *G. oxydans* играет незаменимую роль, оценивался более чем в 1,34 млрд долларов США.

Gabrielle Alves Ribeiro da Silva и соавторы обращают особое внимание на разработку штаммов с улучшенными биотехнологическими характеристиками методами метаболической инженерии: направленная модификация генов, кодирующих ключевые дегидрогеназы и транспортные системы, позволяет значительно повысить выход целевых метаболитов [6]. Помимо генно-инженерных подходов, активно исследуется использование низкозатратного сырья, например, отходов агропромышленного производства [29], что соответствует принципам зелёной биотехнологии и открывает перспективу применения виноградного жмыха и виноградного сока-полуфабриката в качестве субстратов для производства глюконатов.

Виноградный сок является природной средой обитания *Gluconobacter*, находимого на поверхности зрелых ягод, особенно в регионах с умеренным климатом. Marcello Brugnoli и соавторы в своём исследовании пишут о ферментации виноградного сусла различными штаммами уксуснокислых бактерий в семи специально разработанных питательных средах с различными источниками углерода [30]. Эти исследователи продемонстрировали высокую вариабельность способности к ацетификации и продукции глюконовой кислоты среди штаммов одного вида, особенно среди *G. oxydans*: штаммы ATCC 621H и DSM 3503T показали наибольший выход глюконовой кислоты во всех испытанных условиях, включая уваренное виноградное сусло (для производства бальзамического уксуса). Аэрация среды (перемешивание) достоверно увеличивала продукцию глюконовой кислоты, а при истощении глюкозы бактерии начинали повторно поглощать уже накопленную глюконовую кислоту через фосфорилирование в 6-фосфоглюконат это факт, имеющий важное практическое значение для управления процессом.

Наиболее значимыми продуктами метаболизма *G. oxydans* в виноградном соке являются глюконовая и уксусная кислоты [31]. Глюконовая кислота, образующаяся в результате окисления глюкозы мембраносвязанной GDH, снижает pH среды и повышает её титруемую кислотность, одновременно улучшая физическую стабильность продукта и смягчая восприятие кислотности потребителем, благодаря мягкому кисловато-сладковатому вкусу в сравнении с резкой остротой уксусной кислоты [22]. Уксусная кислота, в свою очередь, обладает выраженными консервирующими свойствами, подавляя рост патогенной микрофлоры [26].

Ферментативная система *G.oxydans* сохраняет полную функциональность даже в присутствии широкого спектра потенциально ингибирующих соединений, характерных для гидролизатов растительного сырья: фурфурола, 5-гидроксиметилфурфурола, органических кислот, фенольных соединений [27]. Применительно к виноградному соку автохтонных сортов, содержащему высокие концентрации полифенолов и ароматических предшественников, это означает стабильную активность

бактерий без существенного снижения выхода целевых метаболитов, что принципиально важно для обеспечения технологической воспроизводимости.

Управление ферментационными параметрами является ключевым инструментом направленного формирования состава конечного продукта. Температура культивирования оказывает двойственное влияние: она определяет скорость роста клеток и интенсивность окислительных реакций. Для большинства промышленных штаммов *G. oxydans* оптимальный диапазон составляет 25–30 ° C; повышение температуры сверх 35 ° C приводит к снижению активности ключевых дегидрогеназ [6].

Интенсивность аэрации напрямую контролирует скорость окислительных процессов, поскольку метаболизм *G. oxydans* является строго аэробным. Перемешивание среды достоверно увеличивает выход глюконовой кислоты в виноградном сусле [30]. Начальная концентрация сахаров и этанола также существенно влияет на конечный метаболический профиль: высокие концентрации этанола переориентируют метаболизм в направлении его окисления до уксусной кислоты, тогда как преобладание глюкозы стимулирует глюконатообразование.

Значение pH ферментационной среды определяет активность мембраносвязанных дегидрогеназ: кислая среда (pH 4,5–6,5) является оптимальной для *G. oxydans* и соответствует естественному диапазону кислотности виноградного сока. Это является важным технологическим преимуществом: при работе с виноградным суслом без внесения дополнительных буферных систем pH-условия изначально близки к оптимальным для данного микроорганизма [6]. Исследование смешанных культур *Saccharomyces cerevisiae* и *G. oxydans* показало, что совместное культивирование дрожжей и уксуснокислых бактерий обеспечивает более высокий выход целевых продуктов по сравнению с монокультурами, открывая перспективы для проектирования консорциумов микроорганизмов с синергетическим метаболизмом [31].

Совместное развитие *G. oxydans* с дрожжами и другими уксуснокислыми бактериями в виноградном сусле определяет доступность субстратов, степень накопления промежуточных метаболитов и итоговые характеристики ферментационной среды. Микробиом виноградного сока включает разнообразных участников: дикие дрожжи родов *Saccharomyces, Candida*, молочнокислые бактерии, а также различные уксуснокислые бактерии: *Acetobacter pasteurianus, Komagataeibacter xylinus* и д.р. [26]. Понимание конкурентных и синтрофных взаимодействий в этом сообществе необходимо для разработки управляемых технологий, обеспечивающих предсказуемое и воспроизводимое качество конечного продукта.

Дополнительный интерес представляет роль *G. oxydans* в производстве фруктовых уксусов – категории, переживающей активное возрождение как в России, так и в мире. В отличие от *Acetobacter*, *G. oxydans* сочетает высокую активность по окислению сахаров с меньшей склонностью к глубокому последующему окислению уксусной кислоты, что позволяет получать продукты с более мягким, сложным кислотным профилем и повышенным содержанием глюконатов [26]. Применительно к виноградному уксусу из автохтонных сортов это означает возможность создания продукта с уникальными сенсорными характеристиками, обусловленными как терруаром исходного сырья, так и специфическими метаболическими возможностями производственного штамма.

Комбинация ресурсного потенциала российских автохтонных сортов винограда и биотехнологических возможностей *Gluconobacter oxydans*

Совокупный анализ двух рассмотренных направлений позволяет сформулировать концепцию технологической синергии заключающийся в том, что уникальный биохимический состав автохтонных российских сортов винограда формирует оптимальную субстратную основу для направленной ферментации с участием *G. oxydans*. Богатый фенольный состава ягод, высокое содержание глюкозы и специфический органолептический профиль, определяемые терруаром, создают предпосылки для получения ферментированных напитков с многогранными вкусоароматическими и функциональными характеристиками [1, 17].

Ферментационная трансформация полифенольных соединений виноградного сока способна приводить к их деградации до более биодоступных форм, изменению антиоксидантного профиля и образованию новых биологически активных соединений. Таким образом, ферментация *G. oxydans* выступает не только как технологический инструмент регулирования кислотности, но и как инструмент направленной биотрансформации полифенолов, потенциально увеличивающей функциональную ценность конечного продукта [4].

Наращивание площадей под автохтонными сортами в рамках государственных программ обеспечивает стабильную и расширяющуюся сырьевую базу [18]. Рост потребительского спроса на функциональные напитки формирует устойчивую рыночную нишу [5]. Наличие верифицированных техноло-гических решений для ферментации виноградного сока с участием *G. oxydans* и понимание управляющих параметров процесса создают базу для быстрого перехода от научного исследования к опытно-промышленной апробации [30].

Заключение

1. Автохтонные российские сорта винограда: Кокур Белый, Красностоп Золотовский, Сибирьковый, Цимлянский Чёрный и другие формируют уникальную по своему составу сырьевую базу, обусловленную специфическим терруаром исторических регионов виноградарства. Генетические исследования подтвердили самостоятельность большинства российских автохтонных сортов в мировом генофонде *Vitis vinifera*, что определяет их исключительную ценность для пищевой инновации [3].

2. Полифенольный состав автохтонных сортов, включающий высокие концентрации катехина, эпикатехина, процианидинов и антоцианов, обусловливает значительный антиоксидантный и антимикробный потенциал сырья, открывающий перспективы для создания функциональных продуктов питания [17].

3. Бактерии вида *Gluconobacter oxydans* обладают уникальным биотехнологическим потенциалом, обусловленным высокой активностью мембраносвязанных дегидрогеназ, устойчивостью к ингибиторам и способностью к направленному окислению сахаров до глюконовой кислоты. Их метаболическая активность стабильна даже в условиях сложных по составу виноградных сред [27,30].

4. Важно использовать оптимальные условия ферментации напитков (температура 25–30 ° C, интенсивная аэрация, pH 4,5–6,5, контроль концентраций глюкозы и этанола). Это позволит направленно управлять составом конечного продукта, регулируя соотношение глюконовой и уксусной кислот, pH, а также органолептические показатели [6, 31].

5. Сочетание двух актуальных направлений – роста рынка функциональных безалкогольных напитков (примерно 8,5% в год) и расширения отечественного виноградарства (примерно 35% к 2030 году), при наличии научно обоснованных техноло-гических решений, создаёт исключительно благоприятные условия для коммерциализации продукции на основе ферментации виноградного сока автохтонных сортов [18, 5].

Литература

1 Сташ З. Анализ динамики и структуры российского винного рынка: тренды, перспективы и влияние региональных и глобальных факторов // Региональные проблемы преобразования экономики. 2025. № 5. С. 175. URL: https://www.rppe.ru/index.php/rppe/article/view/2892/2698 (дата обращения: 02.10.2026).

2 Kravchenko D.P., Galkin S.I., Kravchenko I.D. et al. The history and prospects of the development of grape and wine science in Russia // AIP Conference Proceedings. 2026. V. 3399. № 1. P. 130010. doi: 10.1063/5.0318692

3 Fedosov D.Y., Korzhenkov A.A., Petrova K.O. et al. SNP-Based Analysis Reveals Authenticity and Genetic Similarity of Russian Indigenous V. Vinifera Grape Cultivars // Plants. 2021. V. 10. P. 2696. doi: 10.3390/plants10122696

4 Kesa A.L., Pop C.R., Mudura E. et al. Strategies to Improve the Potential Functionality of Fruit-Based Fermented Beverages // Plants. 2021. V. 10. P. 2263. doi: 10.3390/plants10112263

5 Дианов А.И. Стратегический анализ конкурентной среды на рынке безалкогольных напитков: современные тенденции и перспективы развития // Дискуссия. 2025. № 5. С. 138. URL: https://discussionj.ru/index.php/polemik/article/view/496/291 (дата обращения: 02.10.2026).

6 da Silva G.A.R., de Sousa Oliveira S.S., Lima S.F. et al. The industrial versatility of Gluconobacter oxydans: current applications and future perspectives // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2022. V. 38. P. 134. doi: 10.1007/s11274-022-03310-8

7 О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации: Федеральный закон от 27.12.2019 № 468-ФЗ. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/45067 (дата обращения: 02.10.2026).

8 Полулях А.А., Волынкин В.А. Фенологические характеристики местных винных сортов винограда России в условиях Крымского западноприморского предгорного района Крыма // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2024. № 3. С. 219–225. URL: https://magarach-journal.ru/index.php/magarach/article/view/416 (дата обращения: 02.10.2026).

9 Макаров А.С., Лутков И.П., Шмигельская Н.А. и др. Автохтонные сорта винограда: актуальность и перспективы использования в виноделии // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2022. № 4. С. 349–360. doi: 10.34919/IM.2022.64.77.008

10 Karapetsas N., Alexandridis T.K., Bilas G. et al. Delineating natural terroir units in wine regions using geoinformatics // Agriculture. 2023. V. 13. № 3. P. 629. doi: 10.3390/agriculture13030629

11 Wang H., Zhang Y., Li X. et al. Climate, soil, and viticultural factors differentially affect the sub-regional variations in biochemical compositions of grape berries // Scientia Horticulturae. 2025. V. 339. P. 113858. doi: 10.1016/j.scienta.2024.113858

12 Волынкин В., Полулях А., Лиховской В. и др. Автохтонные виды, сорта и культивары винограда Крыма // III Международный симпозиум по дикорастущим родственным растениям садоводческих культур. 2018. С. 91–98.

13 Cherviak S.N., Kolesnov A.Y., Ilyina I.A. et al. Study of physic-chemical and biochemical parameters of technical varieties of grapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 659. № 1. P. 012087. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012087

14 Ganich V., Naumova L., Matveeva N. Features of physicochemical and organoleptic characteristics of wine from Krasnostop Zolotovsky grapevine variety // E3S Web of Conferences. 2021. V. 273. P. 01012. doi: 10.1051/e3sconf/202127301012

15 Павлюченко Н.Г. Ампелографический скрининг вегетирующих саженцев донских автохтонных сортов // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 65. С. 100–115. doi: 10.30679/2219-5335-2020-5-65-100-115

16 Ostroukhova E., Peskova I., Legin A. et al. Comparison of the phenolic complex of crimean autochthonous and classic white-berry grape cultivars // E3S Web of Conferences. 2020. V. 161. P. 01059. doi: 10.1051/e3sconf/202016101059

17 Krasteva D., Ivanov Y., Chengolova Z. et al. Antimicrobial Potential, Antioxidant Activity, and Phenolic Content of Grape Seed Extracts from Four Grape Varieties // Microorganisms. 2023. V. 11. № 2. P. 395. doi: 10.3390/microorganisms11020395

18 Семенова А.А., Федорченко Е.А. Перспективы развития виноградарства и виноделия в России // Вектор экономики. 2022. № 12. С. 78. URL: https://vectoreconomy.ru/images/publications/2022/12/regionaleconomy/Semenova_Fedorchenko.pdf (дата обращения: 02.10.2026).

19 Бурак Л.Ч. Перспективы производства фруктовых соков с пробиотиками // The Scientific Heritage. 2025. № 159. С. 124–135. doi: 10.5281/zenodo.15292407

20 Sa'aid N., Tan J.S. From probiotic fermentation to functional drinks: A review on fruit juices with lactic acid bacteria and prebiotics // Preparative Biochemistry & Biotechnology. 2025. V. 55. № 8. P. 915–934. doi: 10.1080/10826068.2025.2467441

21 Dong Y., Li M., Yue X. Current research on probiotics and fermented products // Foods. 2024. V. 13. № 9. P. 1406. doi: 10.3390/foods13091406

22 Hata N.N.Y., Surek M., Sartori D. et al. Role of Acetic Acid Bacteria in Food and Beverages // Food Technology and Biotechnology. 2023. V. 61. № 1. P. 85–103. doi: 10.17113/ftb.61.01.23.7811

23 Chou Y.C., Lin C.H., Chen Y.H. et al. Enhancing antioxidant benefits of kombucha through optimized glucuronic acid by selected symbiotic fermentation culture // Antioxidants. 2024. V. 13. № 11. P. 1323. doi: 10.3390/antiox13111323

24 Neffe-Skocińska K., Sionek B., Ścibisz I. et al. Novel Gluconobacter oxydans strains selected from Kombucha with potential postbiotic activity // Applied Microbiology and Biotechnology. 2024. V. 108. № 1. P. 27. doi: 10.1007/s00253-023-12915-4

25 Chen Y., Wang X., Li J. et al. The mechanisms of environmental stress tolerance in Gluconobacter oxydans: progress and perspectives // Critical Reviews in Biotechnology. 2025. V. 45. № 5. P. 1117–1130. doi: 10.1080/07388551.2024.2426011

26 Roman-Camacho J.J., García-García I., Santos-Duenas I.M. et al. Latest Trends in Industrial Vinegar Production and the Role of Acetic Acid Bacteria: Classification, Metabolism, and Applications – A Comprehensive Review // Foods. 2023. V. 12. № 19. P. 3705. doi: 10.3390/foods12193705

27 Zhou P., Yao R., Zhang H. et al. Unique glucose oxidation catalysis of Gluconobacter oxydans constitutes an efficient cellulosic gluconic acid fermentation free of inhibitory compounds disturbance // Biotechnology and Bioengineering. 2019. V. 116. № 9. P. 2191–2199. doi: 10.1002/bit.27020

28 Kataoka N. Ketogluconate production by Gluconobacter strains: enzymes and biotechnological applications // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2024. V. 88. № 5. P. 499–508. doi: 10.1093/bbb/zbae013

29 Raj M., Sharma R., Kumar A. et al. Gluconic acid: strategies for microbial production using organic waste and applications // Physical Sciences Reviews. 2024. V. 9. № 7. P. 2371–2383. doi: 10.1515/psr-2022-0163

30 Brugnoli M., Cantadori E., Arena M.P. et al. Oxidative fermentation of glucose and ethanol in designed media and cooked grape must by acetic acid bacteria // Journal of Agriculture and Food Research. 2024. V. 15. P. 101028. doi: 10.1016/j.jafr.2024.101028

31 Saelee N., Cheong L.Z., Chaijan M. Optimized Acetic Acid Production by Mixed Culture of Saccharomyces cerevisiae TISTR 5279 and Gluconobacter oxydans TBRC 4013 for Mangosteen Vinegar Fermentation Using Taguchi Design and Its Physicochemical Properties // Foods. 2023. V. 12. № 17. P. 3256. doi: 10.3390/foods12173256

References

1 Stash Z. Analysis of the dynamics and structure of the Russian wine market: trends, prospects, and the influence of regional and global factors. Regional Problems of Economic Transformation. 2025. no. 5. p. 175. Available at: https://www.rppe.ru/index.php/rppe/article/view/2892/2698 (in Russian).

2 Kravchenko D.P. et al. The history and prospects of the development of grape and wine science in Russia. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2026. vol. 3399. no. 1. article 130010. doi: 10.1063/5.0318692.

3 Fedosov D.Y., Korzhenkov A.A., Petrova K.O. et al. SNP-Based Analysis Reveals Authenticity and Genetic Similarity of Russian Indigenous V. Vinifera Grape Cultivars. Plants. 2021. vol. 10. no. 12. article 2696. doi: 10.3390/plants10122696.

4 Kesa A.-L., Pop C.R., Mudura E. et al. Strategies to Improve the Potential Functionality of Fruit-Based Fermented Beverages. Plants. 2021. vol. 10. no. 11. article 2263. doi: 10.3390/plants10112263.

5 Dianov A.I. Strategic analysis of the competitive environment in the non-alcoholic beverage market: current trends and development prospects. Discussion. 2025. no. 5. p. 138. Available at: https://discussionj.ru/index.php/polemik/article/view/496/291 (in Russian).

6 da Silva G.A.R., de Sousa Oliveira S.S., Lima S.F. et al. The industrial versatility of Gluconobacter oxydans: current applications and future perspectives. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2022. vol. 38. article 134. doi: 10.1007/s11274-022-03310-8.

7 On Viticulture and Winemaking in the Russian Federation: Federal Law of the Russian Federation No. 468-FZ, December 27, 2019. Available at: http://www.kremlin.ru/acts/bank/45067 (in Russian).

8 Poluliakh A.A., Volynkin V.A. Phenological characteristics of local wine grape varieties of Russia under the conditions of the Crimean western coastal foothill area. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2024. no. 3. pp. 219–225. Available at: https://magarach-journal.ru/index.php/magarach/article/view/416 (in Russian).

9 Makarov A.S., Lutkov I.P., Shmigelskaya N.A. et al. Autochthonous grape varieties: relevance and prospects for use in winemaking. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2022. no. 4. pp. 349–360. doi: 10.34919/IM.2022.64.77.008 (in Russian).

10 Karapetsas N. et al. Delineating natural terroir units in wine regions using geoinformatics. Agriculture. 2023. vol. 13. no. 3. article 629. doi: 10.3390/agriculture13030629.

11 Wang H. et al. Climate, soil, and viticultural factors differentially affect the sub-regional variations in biochemical compositions of grape berries. Scientia Horticulturae. 2025. vol. 339. article 113858. doi: 10.1016/j.scienta.2024.113858.

12 Volynkin V.I. et al. Autochthonous species, varieties and cultivars of Crimean grapevine. Proc. III International Symposium on Wild Relatives of Horticultural Crops. 2018. pp. 91–98. doi: 10.5772/intechopen.98975 (in Russian).

13 Cherviak S.N. et al. Study of physic-chemical and biochemical parameters of technical varieties of grapes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 659. no. 1. article 012087. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012087.

14 Ganich V., Naumova L., Matveeva N. Features of physicochemical and organoleptic characteristics of wine from Krasnostop Zolotovsky grapevine variety. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. vol. 273. article 01012. doi: 10.1051/e3sconf/202127301012.

15 Pavliuchenko N.G. Ampelographic screening of vegetating seedlings of Don autochthonous varieties. Fruit Growing and Viticulture of South Russia. 2020. no. 65. pp. 100–115. doi: 10.30679/2219-5335-2020-5-65-100-115 (in Russian).

16 Ostroukhova E. et al. Comparison of the phenolic complex of crimean autochthonous and classic white-berry grape cultivars. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. vol. 161. article 01059. doi: 10.1051/e3sconf/202016101059.

17 Krasteva D., Ivanov Y., Chengolova Z. et al. Antimicrobial Potential, Antioxidant Activity, and Phenolic Content of Grape Seed Extracts from Four Grape Varieties. Microorganisms. 2023. vol. 11. no. 2. article 395. doi: 10.3390/microorganisms11020395.

18 Semenova A.A., Fedorchenko E.A. Prospects for the development of viticulture and winemaking in Russia. Vector of Economy. 2022. no. 12. p. 78. Available at: https://vectoreconomy.ru/images/publications/2022/12/regionaleconomy/Semenova_Fedorchenko.pdf (in Russian).

19 Burak L.Ch. Prospects for the production of fruit juices with probiotics. The Scientific Heritage. 2025. no. 159. pp. 124–135. doi: 10.5281/zenodo.15292407 (in Russian).

20 Sa'aid N., Tan J.S. From probiotic fermentation to functional drinks: A review on fruit juices with lactic acid bacteria and prebiotics. Preparative Biochemistry & Biotechnology. 2025. vol. 55. no. 8. pp. 915–934. doi: 10.1080/10826068.2025.2467441.

21 Dong Y., Li M., Yue X. Current research on probiotics and fermented products. Foods. 2024. vol. 13. no. 9. Article 1406. doi: 10.3390/foods13091406.

22 Hata N.N.Y., Surek M., Sartori D. et al. Role of Acetic Acid Bacteria in Food and Beverages. Food Technology and Biotechnology. 2023. vol. 61. no. 1. pp. 85–103. doi: 10.17113/ftb.61.01.23.7811.

23 Chou Y.C. et al. Enhancing antioxidant benefits of kombucha through optimized glucuronic acid by selected symbiotic fermentation culture. Antioxidants. 2024. vol. 13. no. 11. article 1323. doi: 10.3390/antiox13111323.

24 Neffe-Skocińska K. et al. Novel Gluconobacter oxydans strains selected from Kombucha with potential postbiotic activity. Applied Microbiology and Biotechnology. 2024. vol. 108. no. 1. article 27. doi: 10.1007/s00253-023-12915-4.

25 Chen Y. et al. The mechanisms of environmental stress tolerance in Gluconobacter oxydans: progress and perspectives. Critical Reviews in Biotechnology. 2025. vol. 45. no. 5. pp. 1117–1130. doi: 10.1080/07388551.2024.2426011.

26 Roman-Camacho J.J., García-García I., Santos-Duenas I.M. et al. Latest Trends in Industrial Vinegar Production and the Role of Acetic Acid Bacteria: Classification, Metabolism, and Applications – A Comprehensive Review. Foods. 2023. vol. 12. no. 19. article 3705. doi: 10.3390/foods12193705.

27 Zhou P., Yao R., Zhang H. et al. Unique glucose oxidation catalysis of Gluconobacter oxydans constitutes an efficient cellulosic gluconic acid fermentation free of inhibitory compounds disturbance. Biotechnology and Bioengineering. 2019. vol. 116. no. 9. pp. 2191–2199. doi: 10.1002/bit.27020.

28 Kataoka N. Ketogluconate production by Gluconobacter strains: enzymes and biotechnological applications. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2024. vol. 88. no. 5. pp. 499–508. doi: 10.1093/bbb/zbae013.

29 Raj M. et al. Gluconic acid: strategies for microbial production using organic waste and applications. Physical Sciences Reviews. 2024. vol. 9. no. 7. pp. 2371–2383. doi: 10.1515/psr-2022-0163.

30 Brugnoli M., Cantadori E., Arena M.P. et al. Oxidative fermentation of glucose and ethanol in designed media and cooked grape must by acetic acid bacteria. Journal of Agriculture and Food Research. 2024. vol. 15. article 101028. doi: 10.1016/j.jafr.2024.101028.

31 Saelee N., Cheong L.-Z., Chaijan M. Optimized Acetic Acid Production by Mixed Culture of Saccharomyces cerevisiae TISTR 5279 and Gluconobacter oxydans TBRC 4013 for Mangosteen Vinegar Fermentation Using Taguchi Design and Its Physicochemical Properties. Foods. 2023. vol. 12. no. 17. article 3256. doi: 10.3390/foods12173256.

Сведения об авторах

Александр Д. Снетков аспирант, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия, sanyasha.00@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-4240-0300

Ирина В. Смотраева к.т.н., доцент, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия, smotraeva@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0003-1255-832X

Петр Е. Баланов к.т.н., доцент, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия, balanov@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0002-0610-9248

Information about authors

Aleksandr D. Snetkov Postgraduate student, Faculty of Biotechnologies, ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russia, sanyasha.00@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-4240-0300

Irina V. Smotraeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Faculty of Biotechnologies, ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russia, smotraeva@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0003-1255-832X

Petr E. Balanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Faculty of Biotechnologies, ITMO University, Kronverkskiy Pr. 49, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russia, balanov@itmo.ru
https://orcid.org/0000-0002-0610-9248

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.

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 20/07/2026	**После редакции** 10/08/2026	**Принята в печать** 08/09/2026

Received 20/07/2026	**Accepted in revised** 10/08/2026	**Accepted** 08/09/2026