

Научная статья

УДК 663.81:579.64:579.861:664.8

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-3-45-69

Обзор биотехнологических подходов к производству сидра: роль дрожжевых и бактериальных культур в управлении ферментацией

А.Д. Беляева*, В.Д. Попова, В.А. Ячкова, И.Д. Беляева, Г.Г. Няникова

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Россия, Санкт-Петербург, *belyaeva_any@mail.ru

Аннотация. Проведена систематизация современных биотехнологических подходов к производству сидра с акцентом на использование дрожжевых и бактериальных культур, влияющих на сенсорные характеристики и микробиологическую стабильность напитка. Рассмотрены как российские, так и зарубежные технологические практики, включая различия в сырьевом обеспечении, выборе штаммов и стиле готового продукта. Особое внимание уделено дрожжевым культурам *Saccharomyces cerevisiae*, *S. bayanus*, их гибридам, а также несакхаромицетным видам (*Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora delbrueckii*) и молочнокислым бактериям (*Lactiplantibacillus plantarum*, *Oenococcus oeni*), применяемым в ко-ферментации. Описаны молекулярно-биологические и технологические аспекты функционирования указанных культур, их влияние на ароматические и вкусовые свойства сидра, а также тенденции в их применении на предприятиях различного масштаба. Приведен сравнительный обзор отечественных и импортных штаммов, включая «Сидровая-101», «Шампанская 7-10» и SafCider™ AC-4. Отмечено, что *S. bayanus* обеспечивает высокую скорость сбраживания (до 7 суток при 10–12°C), низкий остаточный сахар (0,2–0,4%) и выраженный фруктово-цветочный профиль. Применение *L. plantarum*, *S. cerevisiae* и *T. delbrueckii* для ко-брожения позволяет увеличить содержание сложных эфиров, глицерина, антиоксидантную активность и другие параметры. Представлены рекомендации по подбору культур в зависимости от сырья и желаемого стиля напитка. Материал может быть полезен для исследователей и практиков в области пищевой биотехнологии.

Ключевые слова: пищевая биотехнология; безалкогольные напитки; сидроделие; управление ферментацией; брожение; дрожжи; бактерии

Original article

Review of biotechnological approaches to cider production: the role of yeast and bacterial cultures in fermentation control

Anna D. Beliaeva*, Vasilisa D. Popova, Viktoriia A. Iachkova, Irina D. Beliaeva, Galina G. Nianikova

Saint-Petersburg State Institute of Technology
St. Petersburg, Russia, *belyaeva_any@mail.ru

Abstract. A systematisation of current biotechnological approaches to cider production is presented, with a particular focus on the use of yeast and bacterial cultures influencing the sensory properties and microbiological stability of the beverage. Both Russian and international technological practices are examined, including differences in raw material selection, strain choice, and stylistic preferences in the final product. Special attention is given to yeast cultures *Saccharomyces cerevisiae*, *S. bayanus*, their hybrids, as well as non-*Saccharomyces* species (*Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora delbrueckii*) and lactic acid bacteria (*Lactiplantibacillus plantarum*, *Oenococcus oeni*) employed in co-fermentation. Molecular and technological aspects of the metabolic activity of these cultures are described, along with their influence on the aroma and flavour profile of cider and current trends in their industrial application. A comparative analysis of domestic and imported strains, including Sidrovaya-101, Shampanskaya 7-10, and SafCider™ AC-4, is provided. It is noted that *S. bayanus* ensures a high fermentation rate (up to 7 days at 10–12°C), low residual sugar (0.2–0.4%), and a pronounced fruity-floral profile. The use of *L. plantarum*, *S. cerevisiae*, and *T. delbrueckii* in co-fermentation improves the content of complex esters, glycerol, antioxidant activity, and other sensory parameters. Recommendations are offered for strain selection based on raw material characteristics and target cider style. The material may be of practical interest to researchers and engineers in the field of food biotechnology.

Keywords: food biotechnology; cidermaking; fermentation control; bioconversion in cider production; yeasts; bacteria

Введение

Сидроделие представляет собой один из древнейших видов переработки плодового сырья, исторически сформировавшийся в регионах с обилием яблоневых садов и получивший широкое распространение в странах Западной Европы. В последние десятилетия интерес к производству сидра

возрождается как со стороны крупных пищевых корпораций, так и малых фермерских хозяйств, обусловленный сочетанием биотехнологической гибкости процесса, растущим потребительским спросом на слабоалкогольные фруктовые напитки и возможностью дифференциации продукции за счет сырьевого и микробиологического разнообразия.

Согласно отчету Future Market Insights [1], мировой рынок сидра оценивается в 109,8 млрд долларов США в 2025 году и, как ожидается, достигнет 137,6 млрд долларов к 2035 году, демонстрируя среднегодовой темп роста (CAGR) 4,3% в течение прогнозируемого периода. Этот рост обусловлен увеличением потребительского спроса на напитки с низким содержанием алкоголя и фруктовые напитки.

Современное сидроделие характеризуется многообразием технологических подходов, включающих ферментацию с участием как культурных дрожжевых рас (*Saccharomyces bayanus*, *S. cerevisiae* и их гибридов), так и природной микрофлоры, адаптированной к региональным условиям. Развитие методов молекулярной идентификации и управления микробиомом брожения позволило перейти от эмпирического к целенаправленному контролю за процессами трансформации сахаров и ароматически активных соединений. Включение несакхаромицетных дрожжей, а также молочнокислых бактерий (*Lactiplantibacillus plantarum*, *Oenococcus oeni*) в процесс ко-ферментации способствует не только увеличению органолептической сложности продукта, но и формированию его биохимической стабильности, что актуализирует вопрос подбора оптимальных культур [2–5].

В России производство сидра остается относительно молодым направлением, находящимся на этапе технологического становления и стандартизации. Особенности климата, сортового состава яблок и ограниченной микробиологической базы требуют адаптации зарубежных практик к локальным условиям. В связи с этим на предприятиях внедряются как импортные, так и отечественные штаммы дрожжей и бактерий, а также разрабатываются собственные композиции культур с заданными бродительными, ароматическими и адаптационными характеристиками.

Устойчивый рост интереса потребителей к функциональным и региональным напиткам делает особенно актуальной задачу научно обоснованного подбора дрожжевых и бактериальных культур, способных обеспечить микробиологическую стабильность, высокое сенсорное качество и адаптацию к различным типам сырья. Исследовательская проблема настоящей работы заключается в отсутствии целостного и систематизированного анализа используемых культур с учетом их таксономической принадлежности, технологических свойств и совместимости.

Целью настоящего обзора является анализ современных штаммов дрожжей и молочнокислых бактерий, применяемых в производстве сидра, с точки зрения их ферментативной активности, влияния на ароматические характеристики напитка, а также перспектив использования ко-культур и гибридных форм в рамках современных биотехнологических подходов к сидроделию.

Представлен комплексный обзор дрожжевых и бактериальных культур, применяемых в технологии производства сидра, с акцентом на их таксономическое разнообразие, технологические особенности и роль в формировании сенсорных характеристик конечного продукта. Особое внимание уделено сравнительной оценке коммерческих и локальных штаммов, а также перспективам применения смешанных культур и гибридных форм в современных микробиологических стратегиях.

Обзор охватывает научные и прикладные источники преимущественно за 2000–2025 годы, что обусловлено активным развитием молекулярных методов идентификации микроорганизмов, расширением ассортимента коммерчески доступных культур и ростом интереса к ремесленному сидроделию, подтвержденного научной и патентной литературой последних двух десятилетий.

Производство сидров в России

Сырье. Согласно действующему законодательству Российской Федерации (Федеральный закон от 25.12.2012 г. № 259-ФЗ О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта...»), сидр относится к категории алкогольной продукции [6] и может производиться как из натурального яблочного сусла, так и из восстановленного яблочного сока посредством спиртового брожения без добавления этилового спирта. При этом допускается как насыщение углекислым газом, так и его отсутствие. Содержание этанола в готовом продукте не должно превышать 6% по объему.

Производство сидра регулируется рядом национальных стандартов [7–9], в числе которых ГОСТ 31820-2015, ГОСТ Р 58011-2017 и ГОСТ Р 58851-2020. Так, ГОСТ Р 58011-2017 определяет классификацию сидра по способу насыщения углекислым газом (негазированный, газированный, игристый), степени фильтрации (фильтрованный, нефильтрованный осветленный, нефильтрованный неосветленный), а также по массовой концентрации сахаров (сухой, полусухой, полусладкий, сладкий).

Наиболее перспективным сырьем для производства сидра в условиях умеренного климата России являются зимние и позднеосенние сорта яблок, такие как «антоновка», «боровинка», «грушовка», «донешту», «ренет бумажный», «уманское зимнее». Они характеризуются выраженной кислотностью, высоким содержанием сухих веществ и благоприятным ароматическим профилем. Использование купажей из различных сортов позволяет компенсировать недостатки отдельных компонентов и добиться сбалансированного вкуса и аромата, как это показано в исследованиях по сидрам Самарской области [10].

Кроме того, качество яблочного сырья зависит от агроклиматических условий, сроков съема и хранения, а также от содержания фенольных соединений, пектинов и органических кислот, определяющих поведение суслу в процессе ферментации и органолептику готового продукта [11, 12].

Технологии производства сидра, используемые в стране. После сбора яблок плоды часто проходят стадию созревания, способствующую деградации крахмала и накоплению летучих ароматических соединений. Перед отжимом проводится мацерация – выдержка измельченных яблок перед прессованием, которая активирует пектиновые ферменты и повышает выход сока и улучшает экстракцию ароматов [11].

Термическая обработка сока так же влияет на его состав. Пастеризация (60–80°C) приводит к небольшому снижению кислотности и росту содержания редуцирующих сахаров, тогда как стерилизация (120°C) значительно повышает pH, что может повлиять на вкус, аромат и активность дрожжей при последующем брожении [13].

Для осветления сока в технологии производства сидра применяются три основных подхода: желатинирование пектина с образованием геля (кивинг, англ. *keeving*), статическое осветление (седиментация, англ. *sedimentation*) и флотация (англ. *floatation*) микропузырьками воздуха, аналогичные зарубежным технологиям [14–18].

Дополнительно используются различные классы сорбентов, отличающиеся по природе и механизму действия: минеральные (неорганические) – бентонит, силикагель (кремния диоксид), кизельгур (диатомит), каолин и др.; углеродные – активированный уголь и его модификации; синтетические и полусинтетические – поливинилпирролидон (ПВП), поливинилполипирролидон (ПВПП), полиакриламид (ПАА) и др.; природные – хитин, хитозан, желатин, калия казеинат (молочный белок), альбумин (яичный белок и др.) [19–24]. В частности, перспективным является использование грибного хитозана, полученного из штамма *Rhizopus oryzae* ВКПМ F-814 [19] (также известный как ATCC 9363, NRRL 395 и IMI 40564), который способствует улучшению прозрачности, микробиологической стабильности и органолептических характеристик сидра.

Процесс брожения яблочного суслу представляет собой ключевую стадию в производстве сидра. Существует несколько подходов к ферментации, отличающихся используемыми дрожжевыми культурами и степенью микробиологического контроля.

1. Сбраживание с участием диких дрожжей – один из наиболее традиционных и характерных для региональных сидров способов. Он основан на естественной микрофлоре, присутствующей на кожице плодов и в производственной среде (в том числе дрожжи родов *Brettanomyces*, *Hanseniaspora*, *Metschnikowia* и *Pichia*) [11]. Спонтанное брожение формирует сложный ароматический профиль, но сопровождается рисками недоброда, накопления летучих кислот и биогенных аминов [25].

2. Использование культурных дрожжевых штаммов – на сегодняшний день наиболее широко распространенный подход, гарантирующий стабильность брожения и предсказуемый вкусовой профиль. Наиболее распространенной практикой на промышленных предприятиях является применение рас *Saccharomyces cerevisiae*, *S. bayanus*, а также гибридных штаммов (*S. cerevisiae* × *bayanus*) с высокой бродильной активностью [26–28]. Добавление диоксида серы позволяет подавить нежелательную микрофлору и обеспечить доминирование выбранного штамма. Включение рас Wyeast 4766 Cider,

Mangrove Jack's Cider M02, Lalvin QA23, Vitilevure 58W3 предусматривает высокую ароматообразующую способность и технологическую стабильность [26].

Внедрение гибридных дрожжей, в частности *S. cerevisiae* × *bayanus* и *S. cerevisiae* × *kudriavzevii*, позволяет проводить сбраживание при пониженных температурах, улучшая устойчивость и ароматическую чистоту конечного продукта. Эти культуры активно исследуются с точки зрения молекулярной идентификации и промышленного применения [29].

3. Комбинированные схемы – частичная стерилизация с сохранением естественной микрофлоры. Эта методика предполагает внесение половины дозы сернистой кислоты, оставляя возможность для развития как дрожжей *Saccharomyces* spp., так и отдельных представителей природной микрофлоры, что позволяет сохранить элементы терруара и одновременно снизить риск микробиологической нестабильности [30].

4. Совместная ферментация: современные исследования подтверждают перспективность ко-брожения дрожжей и молочнокислых бактерий (*Lactiplantibacillus plantarum* (ранее – *Lactobacillus plantarum*), *Oenococcus oeni*). Такой подход не только смягчает кислотность продукта, но и способствует биотрансформации фенольных соединений, повышению антиоксидантной активности и формированию уникального вкусо-ароматического профиля [31, 32].

Некоторые исследования [33–35] подчеркивают значительный вклад дрожжей *Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora delbrueckii* и других несакхаромицетов в формирование цветочного и фруктового профиля, особенно при ко-ферментации с *S. cerevisiae*.

В технологии производства сидра используются как сухие дрожжи, представляющие собой гранулированный продукт, полученный путем дегидратации прессованных дрожжевых биомасс, так и свежие прессованные формы. Последние характеризуются ограниченным сроком хранения и требуют соблюдения температурного режима [36]. В современных производственных условиях широкое распространение получили сухие активные винные дрожжи, а также композиции на основе *Saccharomyces bayanus* и *S. uvarum*, способствующие ускорению алкогольного брожения и повышению спиртообразования. Перед инокуляцией дрожжи рехидратируют (восстанавливают физиологическую активность за счет набухания и восстановления клеточной структуры в воде) в подогретой воде для активации метаболической активности [37].

Дополнительно на отечественных предприятиях разрабатываются и применяются инновационные методы, включающие биомодификацию сырья с использованием ферментных комплексов [37–39], ультразвуковую активацию (оптимальное время – 2 мин – приводит к максимальному приросту почкующихся клеток) дрожжевых клеток для ускорения начала ферментации и повышения выраженности [40, 41], обогащение сусла аминокислотами [12], например, метионином (для снижения образования сероводорода и улучшения ароматической чистоты продукта) [42] и обогащение напитков природными антиоксидантами [43]. Обогащение сидра кизилковым соком, содержащим иридоиды и фенольные соединения, повышает антиоксидантную активность напитка. При этом штаммы *S. bayanus* проявляет высокую толерантность к кислотности такого сырья и эффективно сбраживают такой субстрат [43].

Стабилизация вкуса включает добавление танинов (коррекция вкуса при использовании десертных сортов), яблочной кислоты (регулятор кислотности, средство балансировки pH), глутатионсодержащих дрожжевых препаратов (снижение окислительных процессов) и ферментных комплексов (повышение выхода сока, снижение вязкости) для улучшения органолептики [38].

Во многих предприятиях применяется вторичное брожение с шампанскими штаммами (*S. bayanus*, *S. cerevisiae* var. *diastaticus*), особенно при производстве игристых сидров. Направленное регулирование вторичного брожения с применением указанных культур позволяет оптимизировать ароматическое развитие и устойчивость к давлению [43, 44].

В условиях производства игристых сидров особое значение приобретает выбор расы дрожжей, обладающих высокой сбраживающей способностью, устойчивостью к алкоголю и способностью работать при низких температурах. Исследования [45] показали, что среди отечественных дрожжевых культур наилучшие технологические показатели продемонстрировала раса «Шампанская 7-10». Данный штамм обеспечил полное сбраживание сахаров, высокий выход спирта на единицу сахара, быструю

и стабильную динамику ферментации, благоприятный ароматический профиль готового продукта. Для сравнения также были изучены другие культуры – «Сидровая-101» и «Новоимлянская-3», которые продемонстрировали более низкую интенсивность сбраживания и, как следствие, менее выраженные органолептические характеристики.

Таким образом, можно рекомендовать использование именно «Шампанской 7-10» в производстве игристого сидра премиум-класса, где критично достижение устойчивой карбонизации, чистого вкуса и выраженного фруктового букета. Каждая из обозначенных рас демонстрирует разную степень спиртоустойчивости, скорости сбраживания и влияния на аромат.

Отечественные производители. Согласно рыночным аналитическим данным, в 2022 году объем выпуска сидра в РФ увеличился на 54,3% и составил 6,27 млн дал [46]. Основными производителями стали российские подразделения компаний Heineken (более 3,35 млн дал), AB InBev Efes и «Каскад». Примечательно, что этот рост сопровождался расширением ассортимента, в том числе за счет купажных и моносортовых сидров, а также продуктов, обогащенных добавками из ягод, меда и аминокислот [10].

Кроме крупных заводов, в России наблюдается увеличение числа малых и средних предприятий, специализирующихся на выпуске региональных и крафтовых сидров. Примерами таких производителей являются ООО «Медоварус» (Санкт-Петербург), ООО «Василеостровская пивоварня», ООО «Яблочный спас» (Центральный регион), ООО «Золотой колос» (Центрально-Черноземный экономический район), а также крафтовые бренды Chester's и Kelvish [47]. Эти компании чаще используют местное сырье и адаптируют традиционные европейские технологии к российским условиям, включая использование прямого отжима, диких дрожжей и выдержку на осадке.

Растущая популярность фермерского сидра стимулирует внедрение нестандартных решений – охмеление сидра, длительная мацерация, а также использование дикорастущих плодов, таких как смородина, черноплодная рябина, калина и шиповник [48]. Отмечается [49] интерес и к сортовому позиционированию сидров, в том числе на основе сортов «лигол», «призовое» и «россошанское полосатое» с высоким уровнем содержания фенольных соединений (на 100 г): до 587 мг, 413,5 мг и 382,4 мг соответственно; и перспективны для создания насыщенных по вкусу сидров с устойчивым ароматом и выраженной пенистостью, особенно в составе купажей, ориентированных на традиционные британские и французские стили.

Кроме того в России активно развивается направление функциональных сидров с повышенной биологической ценностью. Такие продукты обогащаются витаминами, экстрактами суперфудов, пробиотиками, антиоксидантами (например, экстрактами граната, черники, зеленого чая), а также пребиотиками (инулин, фруктоолигосахариды), что делает их привлекательными для потребителей, ориентированных на здоровый образ жизни [50].

Производственные практики включают использование импортных дрожжевых рас (Wyeast 4766, SafCider™, Red Star Pasteur) и отечественных штаммов («Сидровая-101», «Яблочная-7»), адаптированных к российскому сырью [27, 45, 51]. Растворение сухих активных дрожжей производится в подогретой воде (35–40°C) с добавлением питательной соли (например, диаммонийфосфата) для ускорения начала ферментации [37].

Иностранное производства сидра

Сырье. В странах с развитой культурой сидроделия (Франция, Великобритания, Испания) классификация яблок основывается на содержании сахаров, кислот и дубильных веществ [52–55].

Во Франции принята система деления технических сортов на шесть категорий: сладкие (*douce*), горько-сладкие (*douce amère*), горькие (*amère*), умеренно-кислые (*acidulée*), кислые (*acidée*) и горько-кислые (*amère acidulée*) [52, 53]. Наиболее известные сорта – Bedan, Clos Renaux, Cidor, Petit Jaune, Judeline – характеризуются сбалансированным соотношением сахара и танинов, что особенно важно для длительной выдержки и шампанизации. Сорта *Douce Moen* и *Guillevic* демонстрируют различия в фенольном составе и текстуре плодов: первый отличается высоким содержанием фенольных соединений, включая катехины и полимерные танины, а второй содержит преимущественно высокополимеризованные танины, что влияет на терпкость и устойчивость к окислению при хранении и переработке [56].

Исследования показали, что распределение металлических ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$, Zn^{2+} и др.) в тканях яблок варьируется в зависимости от сорта и года урожая, что может влиять на процессы окисления фенольных соединений и, соответственно, на цвет и вкус сидра. Например, более высокое содержание железа в кожце сорта *Douce Moen* может усиливать реакцию ферментативного окисления фенолов, способствуя формированию насыщенного цвета и выраженного вкуса готового напитка [56].

В Великобритании популярны горько-сладкие сорта Dabinett, Herefordshire Redstreak, Kingston Black и Yarlington Mill. Их кожура содержит до 500 мг/л полифенолов, что придает напитку выраженную терпкость и устойчивую пену при карбонизации [54]. Смеси из 3–5 сортов применяются для достижения баланса между тремя основными параметрами – сахаристостью, кислотностью и фенольным составом. При этом сорта Dabinett и Kingston Black могут использоваться для производства моносортовых сидров, благодаря своей сбалансированной биохимии [54].

Баскский сидр (сагардоа), производимый на севере Испании, изготавливают преимущественно из местных автохтонных сортов Urtebi Txiki, Moko, Patzulua, которые содержат повышенное количество яблочной кислоты и низкий уровень сахаров, что определяет традиционно высокую кислотность напитка [55, 57]. Исследования баскских сидров показывают, что сортовая принадлежность и способ производства оказывают значительное влияние на общее содержание полифенолов и антиоксидантную активность напитков, причем традиционные методы демонстрируют более высокий уровень биологически активных соединений [58].

В странах Северной Америки и Восточной Европы наблюдается рост интереса к использованию десертных и столовых яблок, таких как Fuji, Golden Delicious, Honeycrisp и Red Delicious. Эти сорта содержат повышенное количество сахара, но требуют кислотной и танинной коррекции в купажах [53, 59, 60]. При правильном подборе штамма дрожжей они обеспечивают чистый профиль и высокую органолептическую стабильность.

Основные технологии производства сидра за рубежом. После сбора урожая яблоки проходят период созревания для накопления летучих ароматических соединений. Аналогично отечественной практике, затем проводится мацерация – выдержка измельченных плодов перед отжимом, что повышает выход сока и усиливает аромат.

Для интенсификации брожения и повышения выхода ароматических веществ за рубежом внедряется ультразвуковая обработка как суслу, так и дрожжевых клеток [61]. Этот подход соответствует российским разработкам, где так же применяется ультразвук для активации дрожжей.

Исследования показали, что применение низкоинтенсивного ультразвука в процессе ферментации с участием дрожжей *Hanseniaspora* spp. способствует увеличению выхода ароматических соединений и улучшению органолептических характеристик сидра [61, 62]. Ферментация проводится с участием отобранных штаммов *Saccharomyces cerevisiae*, *S. bayanus*, а также несахаромицетов, что обеспечивает контролируемость и предсказуемость аромата [60, 63–65]. Совместное использование *S. cerevisiae* с такими несахаромицетными дрожжами, как *Debaryomyces hansenii*, *Kluyveromyces marxianus*, *Rhodotorula mucilaginosa* и *Zygosaccharomyces bailii*, позволяет значительно улучшить вкус и аромат сидра по сравнению с моноферментацией.

В то же время традиционные стили (баскский или английский) часто изготавливаются на диких дрожжах [52]. Такие спонтанные ферментации, происходящие за счет естественных дрожжей, присутствующих на кожуре яблок и в окружающей среде, придают сидру уникальные вкусовые характеристики и отражают терруар региона. В странах Северной и Восточной Европы, включая Эстонию, исследуются параметры ферментации сидра из концентратов, при этом показано, что степень разбавления оказывает влияние на pH, скорость ферментации и органолептику готового напитка [60].

Для получения игристых сидров используются вторичное брожение в бутылке (метод шампанизации, придает напитку тонкие пузырьки и сложный аромат), метод Шарма (в герметичных танках, обеспечивает более быстрое и экономичное производство игристых сидров), а также насыщение углекислым газом (форсированная карбонизация, насыщение углекислым газом под давлением). В традиционной технологии применяются активные и инактивированные дрожжи, экспедиционные ликеры и выдержка на осадке [66].

Таким образом, несмотря на разнообразие региональных особенностей и сортов сырья, ключевые технологические этапы производства сидра – мацерация, ферментация (на диких или отобранных штаммах), использование ультразвука, вторичное брожение, выдержка на осадке – во многом совпадают с применяемыми в российской практике. Это указывает на общую технологическую конвергенцию и подтверждает актуальность обмена опытом между отечественными и зарубежными производителями сидра.

Основные производители сидра за рубежом. Мировое производство сидра превышает 100 млн дал в год. Лидерами на этом рынке являются Великобритания, Франция, Испания, Германия и США. В Великобритании перерабатывается более 50 млн дал яблок ежегодно, в том числе для сидров таких брендов, как Aston Manor, Bulmers, Thatchers и Westons (Heineken UK). Французский рынок ориентирован как на ремесленное, так и на промышленное производство (Cidre Loïc Raison, Écusson, Val de Rance) при ежегодном объеме около 14 млн дал [52]. В Испании производство сидра в 9 млн дал в год обеспечивается ведущими производителями Petritegi, Trabanco, Zapiain, расположенными в Стране Басков и Астурии, где выпускается традиционный сидр с характерной кислотностью и минимальной карбонизацией (Sidra Natural). Ирландская компания C&C Group выпускает бренд Magners (известный в Великобритании как Bulmers), экспортируемый более чем в 40 стран мира [52].

В странах ЕС и США активно развиваются малые производства (крафтовые и фермерские), ориентированные на традиционные технологии и местное сырье. Наблюдается тренд на натуральные сидры, произведенные с использованием диких дрожжей, выдержки на осадке и автохтонных сортов яблок. Такой подход сочетается с гастрономическим туризмом, дегустационными мероприятиями и развитием региональных брендов с географической привязкой (AOP Cidre de Normandie, DOP Sidra de Asturias, Heritage Ciders и др.) [55, 67]. США являются крупнейшим рынком крафтового сидра вне Европы, где активно развиваются малые и средние предприятия – Angry Orchard (Boston Beer Co.), 2 Towns Ciderhouse, Wölffer Estate, Schilling Cider и др. Рост индустрии в США связан с интересом к оригинальным сортам яблок (например, GoldRush, Northern Spy) и инновационным добавкам (ягоды, специи, хмель) [68].

Глобальные корпорации так же играют значительную роль: Heineken N.V. производит Strongbow; Carlsberg Group – Somersby; AB InBev – Stella Artois Cidre. Эти бренды представлены на рынках более чем 70 стран и ориентированы преимущественно на молодежную аудиторию за счет сладкого вкуса, легкой карбонизации и узнаваемого дизайна упаковки [27, 47, 67, 69, 70].

Культуры, используемые для производства сидра

В биотехнологии производства сидра ключевую роль играют дрожжи и бактерии, определяющие органолептические свойства напитка. Использование специфических рас дрожжей и бактерий позволяет производителям сидра создавать разнообразные вкусовые профили и контролировать процесс брожения для достижения желаемых характеристик напитка [27, 71].

Дрожжи. Все дрожжи, применяемые в производстве сидра, условно делятся на две группы – культурные (селективные) и дикие (естественные). Культурные дрожжи представляют собой специально отобранные штаммы, прошедшие селекцию на устойчивость и способность к целенаправленной ферментации. К ним относятся, в основном, *Saccharomyces cerevisiae*, *S. bayanus*, *S. uvarum* и их гибриды, обеспечивающие стабильный процесс брожения с формированием чистого, сбалансированного вкусового профиля, что делает их основой индустриального сидроделия [72, 73]. Дикие дрожжи, такие как *Brettanomyces* spp., *Kluyveromyces thermotolerans*, *Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora* spp. естественным образом присутствуют на поверхности плодов и в производственной среде. Их участие придает напитку сложный и уникальный аромат, включая пряные, травяные и землистые ноты [72, 73]. Однако применение этих микроорганизмов сопряжено с рисками: они могут вызывать нестабильность брожения, повышенное содержание летучих кислот, сероводород и других побочных продуктов.

В классических стилях (особенно фермерских и региональных сидрах Великобритании и Франции) дикие дрожжи часто являются частью спонтанного брожения (либо используются намеренно, но ограниченно), хотя их активность на начальных этапах, как правило, подавляется развитием *S. cerevisiae* в течение 2–3 суток [63, 74, 75]. Для достижения баланса между стабильностью и сложностью

аромата производители иногда прибегают к ко-брожению, сочетая *Saccharomyces* spp. с так называемыми «не-*Saccharomyces* дрожжами» (р. *Candida*, *Kloeckera*, *Pichia* и др.), регулируя их пропорции и условия ферментации [75–77].

Saccharomyces cerevisiae – наиболее распространенный вид дрожжей, используемый в производстве сидра. Он обеспечивает стабильное брожение и предсказуемый профиль вкуса. В целом, *S. cerevisiae* обладает высокой толерантностью к алкоголю, достигая концентраций до 15–18% об., а также выраженной сахароферментативной активностью. Это делает его предпочтительным выбором для производства как сухих, так и полусладких сидров [77, 78].

Специальные расы, такие как раса XII, характеризуются высокой бродильной активностью при стандартных температурах, но их активность снижается при повышенных температурах (36–40°C), что может быть использовано для контроля процесса брожения [78].

Некоторые штаммы *S. cerevisiae*, например, штамм 59A, проявляют высокую активность при температурах выше 28°C, что может быть использовано для ускорения ферментации. Однако при повышенных температурах возможно образование таких нежелательных побочных продуктов, как фузельные спирты и эфиры, что может негативно сказаться на вкусе сидра [76, 79]. Коммерческие штаммы (SafCider™ AB-1) демонстрируют широкий диапазон температур ферментации от 10 до 30°C, что позволяет адаптировать процесс к различным технологическим условиям [80].

Исследования также показывают, что ко-ферментация *S. cerevisiae* с другими дрожжами, например *Schizosaccharomyces pombe*, может улучшить качество сидра, включая его ароматические характеристики [81].

Brettanomyces spp. – дрожжи рода *Brettanomyces* (например, *Brettanomyces bruxellensis*) применяются для создания сидров с характерными «дико-ферментированными» нотами, которые придают напитку сложный аромат с оттенками кожи, специй и фруктов. Использование этих дрожжей требует тщательного контроля, чтобы избежать нежелательных вкусов [82–84].

Так называемые «дикие дрожжи», часто обитают на поверхности яблок, в дубовых бочках и могут появляться спонтанно. Они придают сидру сложный и «фанковый» вкус: нотки кожи, конюшни, специй, используются в сидрах фермерского типа, особенно в Великобритании и Франции (преимущественно в стиле «keeved cider»); работают медленно, требуют длительного выдерживания. Кроме того, специальные расы не выделяются промышленно, но известны штаммы с повышенной продукцией эфиров и фенолов [82].

В частности, *Brettanomyces bruxellensis* способна выживать в условиях низкого pH, высокой концентрации этанола и ограниченного содержания кислорода, что делает ее устойчивой в процессе ферментации сидра [82]. Эти дрожжи продуцируют такие летучие фенольные соединения, как 4-тилфенол и 4-этилгуайакол, придающие напитку характерные ароматы, описываемые как «конюшня», «копченость» и «пряности» [84].

Torulaspora delbrueckii – альтернативный вид дрожжей с низкой продукцией летучих кислот, часто используется в совместном брожении с *Saccharomyces* spp., чтобы придать фруктовость. Не дают резких «дико-броженных» вкусов, как *Brettanomyces* spp., а способствуют формированию фруктовых и цветочных нот [85, 86]. Некоторые коммерчески доступные штаммы (Biodiva от Lallemand) успешно применяются в совместном брожении с *S. cerevisiae*, улучшая органолептические свойства сидра.

Исследования [87–89] показали, что использование *T. delbrueckii* в ферментации яблочного сока повышает содержание летучих ароматических соединений, в частности фенилэтилового спирта и различных эфиров, особенно при последовательной или совместной инокуляции с *S. cerevisiae*, что обогащает вкусо-ароматический профиль напитка.

Бактерии, используемые в производстве сидра

Молочнокислые бактерии (LAB), такие как *Oenococcus oeni* и *Lactiplantibacillus* spp. (ранее – *Lactobacillus* spp.) вносятся в сусло для проведения яблочно-молочного брожения, при котором яблочная кислота превращается в молочную. Этот процесс смягчает кислотность сидра и придает ему более округлый вкус, моделируя желаемые органолептические свойства [71, 90–94]. Для промышленных целей используются специально отобранные расы *Oenococcus oeni*, устойчивые к низким значениям pH (до 3,0–3,2), а также к содержанию этанола до 14%. Коммерчески доступны штаммы

компаний *Chr. Hansen (Viniflora Oenos, CH11)* и *Lallemand (Lalvin VP41, Lalvin 31)*, которые отличаются высокой выживаемостью, быстрой адаптацией и способностью работать при низких температурах [71, 90–93]. *Lactiplantibacillus plantarum* (ранее – *Lactobacillus plantarum*) применяется как альтернатива *Oenococcus oeni* в яблочном сидроделии. Этот вид способен эффективно функционировать при более высоких значениях pH и температуре, чем традиционные культуры для яблочно-молочного брожения. Некоторые штаммы дополнительно способствуют формированию фруктовых ароматов и повышают микробиологическую стабильность продукта [71, 90–94].

Уксуснокислые бактерии. Хотя уксуснокислые бактерии (*Acetobacter* spp.) обычно считаются нежелательными в производстве сидра из-за риска избыточного образования уксусной кислоты, которая придает напитку резкий и неприятный вкус, некоторые виды, например *Acetobacter aceti*, используются в строго контролируемых условиях для формирования специфических вкусовых и ароматических профилей. В частности, их ферментативная активность может способствовать развитию сложных, «винтажных» или «окисленных» нот, востребованных в определенных стилях сидра, особенно выдержанных или бочковых вариантов [74, 95–97]. В исследовательских и ремесленных практиках возможно введение низкоактивных штаммов *Acetobacter* для создания сидров с легкой летучей кислотностью, но при этом требуется точный контроль уровня кислорода, температуры и pH, поскольку даже незначительное нарушение условий приводит к потере стабильности продукта и развитию нежелательной флоры. В связи с этим большинство производителей предпочитает избегать условий, способствующих развитию уксуснокислых бактерий, особенно в герметичных танках и при хранении на осадке [95–97].

Для получения сидров с заданными сенсорными характеристиками и высокой стабильностью ферментации производители используют широкий спектр дрожжевых и бактериальных культур. Каждая культура характеризуется определенным метаболическим профилем, влияющим на вкус, аромат, кислотность, степень сбраживания и биологическую стойкость конечного продукта. Ниже представлены основные культуры, применяемые в производстве сидра, включая их таксономическое положение, штаммовую принадлежность, технологические преимущества и ограничения (таблица).

Представленные в таблице дрожжевые и бактериальные культуры отражают широту биотехнологического инструментария, применяемого в современном сидроделии. Основную долю составляют штаммы родов *Brettanomyces*, *Hanseniaspora*, *Pichia*, *Saccharomyces*, *Starmerella*, *Torulaspora* и др., а также представители молочнокислых бактерий – *Lactiplantibacillus plantarum*, *Oenococcus oeni*, *Pediococcus parvulus*. Среди дрожжей доминируют штаммы *S. bayanus* и *S. cerevisiae*, включая как традиционные культуры, так и гибридные формы, обладающие уникальными физиолого-биохимическими свойствами, обеспечивающими высокую адаптивность к технологическим условиям.

Выбор дрожжевой культуры в значительной мере определяет кинетику ферментации, степень метаболизации сахаров, профиль летучих и нелетучих метаболитов, а также микробиологическую стабильность напитка. Например, гибридные штаммы *S. cerevisiae* × *bayanus* и *S. cerevisiae* × *kudriavzevii*, отличаются пониженной температурной чувствительностью, повышенной спиртоустойчивостью и способностью продуцировать сложные эфиры, определяющие ароматическую насыщенность и свежесть конечного продукта. Их генетическая архитектура способствует экспрессии аллотетраплоидных и аллотриплоидных признаков, в том числе усиленной продукции вторичных метаболитов (эфиров, терпенов, глицерина), а также эффективному завершению ферментации даже при неблагоприятных условиях (низкие температуры, высокая осмолярность сусла, pH ниже 3,2).

Отдельный интерес представляют несахаромицетные дрожжи (*Hanseniaspora* spp., *Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora delbrueckii*), играющие важную роль в модификации сенсорного профиля. Эти культуры характеризуются низкой продукцией летучих кислот, выраженной синтезирующей активностью по отношению к эфиروобразующим путям и высоким уровнем глицерина. Использование их в монокультуре или в ко-ферментации с *S. cerevisiae* позволяет достигать более сложного и многослойного вкуса, включая цветочные, сливочные, фруктовые и пряные ноты. Несмотря на ограниченную сбраживающую способность и высокую чувствительность к алкоголю, их биотехнологическая ценность заключается в способности к биотрансформации ароматически значимых предшественников и модуляции кислотно-фенольного баланса.

Таблица. Характеристика дрожжевых и бактериальных культур, используемых в производстве сидра
 Table. Characteristics of yeast and bacterial cultures used in cider production

Вид (тип)	Штамм/Группа	Особенности/Преимущества	Риски/Ограничения	Источник
<i>S. bayanus</i>	AC-4	высокая устойчивость к стрессовым условиям; быстрая кинетика брожения; киллер-фенотип; высокое образование этиловых эфиров; низкое потребление яблочной кислоты; низкие требования к азоту; свежий и хрустящий профиль сидра с выраженными цитрусовыми и цветочными нотами	ограниченная ароматическая сложность; риск сернистых запахов	[20, 98]
	AS-2	сравнительно высокое значение общей кислотности (3,71 г/л); умеренный уровень ацеталей; хорошая цветовая интенсивность; сладкий и комплексный профиль сидра с выраженными цитрусовыми и цветочными нотами, а также нотами вареных фруктов	высокое содержание альдегидов (57,20 мг/л); выраженная кислотность может потребовать балансировки сладостью	[98, 99]
	C6	хорошая адаптация к стрессовым условиям (высокий сахар и этанол, низкая температура); успешное проведение алкогольной ферментации различных типов яблочного сока при производстве ледяных сидров; высокий уровень глицерина и пирувата; способствует формированию сложного и ароматного профиля напитка	может давать терпкий вкус из-за низкого отношения сахаров к кислотности; не происходит малолактоического сбраживания (высокий уровень яблочной кислоты сохраняется)	[100, 101]
	CN1	эффективная ферментация частично обезвоженного винограда; высокий уровень глицерина; низкое содержание окислительных соединений, таких как уксусная кислота и ацетальдегид	возможные различия в цвете и ароматическом профиле	[102]
<i>S. cerevisiae</i>	XII	высокая бродительная активность при стандартных температурах	активность снижается при повышенных температурах	[78]
	59A	высокая активность при температурах выше 28°C – ускорение ферментации	возможно образование нежелательных побочных продуктов (фузельные спирты и эфиры), что может негативно сказаться на вкусе сидра	[77]
	Beervिंगem + питательная соль	повышает численность живых клеток; сокращает лаг-фазу; улучшает вкус; ускоряет процесс сбраживания	избыточное питание дрожжей; добавки не повышают выход этанола – нецелесообразно в соке из яблок	[51]
	CK S102	высокая скорость ферментации	высокий уровень ацетальдегида, кетонов и метанола (103 мг/дм ³)	[26]
	France Champagne Premium	хорошие ароматические характеристики (эфиры – 629 мг/дм ³)	высокое содержание кетонов (4 мг/дм ³)	[26]
	Fruit Turbo	гармоничный округлый вкус; цитрусово-травяной аромат; сбалансированный профиль	сравнительно низкая дегустационная оценка	[73]
	Gervin GV1 (Universal)	формирует свежесть в начальной фазе; участвует в терруарной передаче вкуса в натуральных сидрах; быстрое	средняя выраженность аромата; менее выраженный рост биомассы	[51]

	и стабильное сбраживание, хороший выход этанола и аромат при 72 ч ферментации	при низком содержании биологически-активных соединений	
Lalvin QA23	интенсивно продуцирует эфиры, особенно цитрусовые и тропические; снижает образование сероводорода, улучшая ароматический профиль	чувствительность к температуре	[26]
Lalvin V1116	высокая сбраживающая способность; стабильная ферментация; низкий уровень вторичных примесей (при 25°C); адаптирован к плодово-ягодному сырью; высокий уровень ацетальдегида (434 мг/дм ³) – выраженный аромат	потенциальный токсикологический риск; при 10°C повышается длительность ферментации (до 41 сут.)	[26], [103]
Mangrove Jack's M02	производит яркие фруктовые и цветочные ароматы; устойчив к перепадам температур; обеспечивает высокую степень осветления	избыточное осветление	[27]
OIC be Fruit	яркий аромат зеленого яблока; мягкий вкус; легкие сливочные оттенки	сравнительно низкая дегустационная оценка	[73]
PRIMAVERA	быстрое брожение (7 сут.); умеренная кислотность	низкое содержание эфиров – 423 мг/дм ³	[26]
SIHA-Aktiv-Hefe 8	хорошее снижение плотности; приемлемые уровни ацетальдегида и метанола	долгое брожение при низкой температуре (до 45 сут.); возможен недоброд	[103]
Vitilevure Albaflor	высокий уровень сложных эфиров (649 мг/дм ³); хорошее осветление	средняя скорость брожения (9 сут.)	[26]
Vitilevure B + C	умеренные органолептические показатели	длительное брожение (10 сут.); повышенные фузельные масла	[26]
Vitilevure Multiflor	высокое содержание эфиров (610 мг/дм ³); хорошая осветляемость	выход метанола – 63 мг/дм ³	[26]
Vitilevure 58W3	быстро и полно сбраживает сусло; выделяет ароматические соединения (сложные эфиры), раскрывающие сортовой состав яблок; придает ярко выраженный фруктовый аромат; хорошая флокуляция	мутность без охлаждения; выход метанола выше среднего (82 мг/дм ³)	[26]
Wyeast 4766 Cider	чистый яблочный вкус; без постороннего дрожжевого запаха; подходит для производства сидров премиум-класса с акцентом на натуральность	требует гигиеничности и контроля	[27]
ZYMASIL	стабильная и полная ферментация; умеренное образование летучих компонентов; хорошая технологическая адаптивность	низкое содержание сложных эфиров; умеренное содержание ацетальдегида (в пределах нормы, но выше, чем у других штаммов)	[26]
Вишневая 6	выраженный аромат; сбраживание до остатка сахара 0,2–0,4%	не указаны	[104]
Вишневая 18	умеренное качество; остаточный сахар до 0,5%	более высокая летучая кислотность	[104]
Малиновая 28	слабый по органолептике; остаточный сахар 0,4–0,5%	не указаны	[104]
Новоцимлянская 3	стабильная кинетика сбраживания; сбалансированные органолептические качества	медленное начало брожения	[45]
Сидровая 101	отечественный штамм, адаптирован под яблоки средней полосы; обеспечивает полное сбраживание и стабильный,	ограниченная доступность; нет ярко выраженных индивидуальных	[11], [45], [104]

		гармоничный вкус; низкое содержание летучих кислот; остаточный сахар 0,2–0,4%	ароматических тонов; требует адаптации под конкретные сорта	
	Смородиновая 22	Хорошая сбраживающая способность – остаточный сахар 0,3–0,5%; летучие кислоты ~0,7–0,8 г/дм ³	не входит в число лучших по дегустационным оценкам; требует улучшения через смешивание	[104]
	Сухие винные дрожжи (Беларусь)	высокое содержание фузельных масел (1481 мг/дм ³)	медленное брожение (10 сут.); низкое качество аромата; высокое содержание метанола	[26]
	Шампанская 7-10	активное сбраживание; яркий аромат; насыщенный цвет; высокий выход спирта	требует брожения при 10–12°C; чувствительна к отклонению температуры	[45]
<i>S. pastorianus</i> гибрид <i>S. cerevisiae</i> × <i>S. eubayanus</i>	Яблочная 7	традиционно используемая культура; хорошая сбраживающая активность; высокие органолептические показатели	сравнительно высокое образование метанола и летучих кислот, особенно при 10°C; требует строгого соблюдения условий	[103], [104]
	SafLager S-23	формирует сбалансированный вкус с низким уровнем алкоголя; применяется в безалкогольных и слабосброженных сидрах	медленная ферментация	[27]
	<i>Brettanomyces bruxellensis</i>	формирует сложный букет: сено, специи, животные ноты; используется в крафтовых сидрах и для вторичного брожения	нестабильность; высокий рису дефектов вкуса	[105]
	<i>Brettanomyces anomalus</i>	может участвовать в созревании, изменяя аромат; влияет на третичный аромат (придает характер «старой бочки»)	может вызывать дефекты вкуса (животные ноты, мышинный привкус) и запаха (кожа, лошадиный пот, затхлость, дымные или плесневые оттенки и др.)	[11]
Дикие дрожжи	<i>Hanseniaspora</i> spp.	активны на ранней стадии ферментации; придают свежий фруктовый характер; способствуют формированию сложных ароматов	вытесняются <i>S. cerevisiae</i>	[11]
	<i>Hanseniaspora uvarum</i>	выраженное образование эфиров (гексил-, изоамилацетат); фруктовый сложный ароматический профиль; участвует на ранних стадиях брожения	низкая спиртоустойчивость (~5–6%); вымывается к середине ферментации	[11]
	<i>Hanseniaspora vineae</i>	активно потребляет сахара; улучшает фруктовый профиль; способствует повышению содержания глицерина	чувствительность к pH; взаимодействует с другими дрожжами	[11]
	Разные неуточненные	повышенная остаточная сладость (2–3 г/100 мл); низкий выход спирта; высокая летучая кислотность	низкое качество; нестабильность; риск недоброда	[104]
LAB	<i>Lentilactobacillus collinoides</i> (ранее – <i>Lactobacillus collinoides</i>)	активно участвует в яблочно-молочном брожении; доминирует на всем его протяжении	образует биогенные амины при избыточной нагрузке	[11]
	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (ранее – <i>Lactobacillus plantarum</i>)	обогащает сидр натуральным ароматом – кожа, древесина, пряности; применяется в натуральных и фермерских сидрах	чувствительность к спиртам	[74]

	<i>Oenococcus oeni</i>	нежные фруктовые и цветочные ароматы; замедленное сбраживание снижает резкость; повышает стабильность аромата	медленное развитие; требует точного контроля условий выдержки (pH, температура, SO ₂)	[11], [90], [91], [106]
	<i>Pediococcus parvulus</i>	усиливает вкус и аромат; образует экзополисахариды; повышает тело напитка	не способен самостоятельно проводить яблочно-молочное брожение	[107]
не- <i>Saccharomyces</i> дрожжи	<i>Pichia kluyveri</i>	образует сложные ароматы; влияет на кислотность; проявляет особо выраженную активность при ко-ферментации с <i>H. uvarum</i>	высокий уровень остаточного сахара при чистом брожении	[11]
	<i>Starmerella bacillaris</i> (ранее – <i>Candida zemplinina</i>)	модулирует профиль летучих веществ; снижает уксусную кислоту; усиливает аромат и мягкость вкуса; антагонист к нежелательным дрожжам	ограниченная сбраживающая способность при высоком уровне сахара; требует контроля; желательно сочетание с <i>S. cerevisiae</i>	[11]
	<i>Torulaspora delbrueckii</i>	способствует формированию сложных ароматов; снижает летучую кислотность; подходит для смешанных культур	может иметь низкую сбраживающую способность	[11]
ко-ферментация	<i>L. plantarum</i> XJ25 + <i>O. oeni</i> 144–46	самая высокая совместимость; быстрое и полное яблочно-молочное (10 сут.); увеличение терпенов, эфиров, антоцианов; минимальная потеря цвета	требует точного подбора штаммов; вариативность совместимости зависит от условий	[93]
	<i>L. plantarum</i> XJ25 + <i>O. oeni</i> 450 PreAc	высокая эффективность ЯМБ; снижение потери цвета; рост терпенов и эфиров	менее выраженное повышение аромата, чем у некоторых автохтонных штаммов	[93]
	<i>L. plantarum</i> + <i>O. oeni</i> + <i>S. cerevisiae</i> AAV2	повышение сложности аромата (флоральные, фруктовые, ореховые тона); увеличенное содержание эфиров, терпенов, фенольных спиртов; подавление цветковых потерь	требует точного подбора совместимых штаммов дрожжей; возможны нарушения малолактической ферментации при несовместимости	[92]
	Combi (<i>S. cerevisiae</i> + <i>O. oeni</i>)	смешанная культура; создает округлый, мягкий и терпкий вкус за счет сочетания брожения и малолактической трансформации; пикантная горчинка в послевкусии	контроль за разными культурами; сравнительно низкая дегустационная оценка	[28], [73]
	<i>S. cerevisiae</i> SY + <i>Lact. plantarum</i> SCFF107 и SCFF200	улучшение вкуса и аромата; рост антиоксидантной активности; снижение кислотности (яблочная кислота)	возможен дисбаланс между микроорганизмами; требуется точный контроль условий; не все штаммы совместимы между собой	[32]
	<i>S. cerevisiae</i> + <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	смешанная культура; улучшение качества сидра, в т.ч. ароматических характеристик	не указаны	[81]
	<i>S. cerevisiae</i> + <i>T. delbrueckii</i> (Biodiva™) + <i>Metschnikowia pulcherrima</i> (Flavia®)	улучшение вкуса и аромата (фруктовые, цветочные и дымные ноты), повышение устойчивости пены, увеличение содержания глицерина, снижение летучей кислотности	возможен дисбаланс между микроорганизмами; требуется точный контроль условий, не все штаммы совместимы.	[33]
	<i>S. cerevisiae</i> : Малиновая 28 + Смородиновая 22 + Вишневая 18	высокая кислотность; умеренные органолептические показатели	длительный срок сбраживания	[104]

	<i>S. cerevisiae</i> : Сидровая 101 + Яблочная 7 + Вишневая 6	высокая комплексная оценка; гармония вкуса; сокращение сроков сбраживания	требует точного подбора пропорций	[104]
	<i>S. cerevisiae</i> : Safale US-05 + Gervin GV4 + Safbrew F-2	многоступенчатый купаж для барливайна (ячменного вина); высокая спиртоустойчивость; сбраживание сложных сахаров; вторичная ферментация	требует четкого этапного внесения, при ошибке – риск остановки брожения	[28]
	<i>S. cerevisiae</i> : WB-06 + Safbrew F-2 + Safcider	купаж для сидра; ускорение старта (WB-06); осветление (F-2); окончательное сбраживание при низком pH (Safcider)	требует контроля стадий: задержка или преждевременное внесение нарушают профиль	[28]
гибридные дрожжи	Red Star® Pasteur Champagne (Davis 595): <i>S. cerevisiae</i> × <i>S. bayanus</i>	обеспечивает чистый сухой вкус; активно работает в игристых и крепких сидрах; подходит для шампанизации.	медленный старт брожения	[29]
	<i>S. cerevisiae</i> × <i>S. bayanus</i> – S6U	аллотетраплоид; улучшает ферментацию при низких температурах; используется в игристых винах и сидре	сложный кариотип; нестабильность при длительном хранении	[2]
	<i>S. cerevisiae</i> × <i>S. bayanus</i> × <i>S. kudriavzevii</i> – CID1	аллотриплоид; изолирован из яблочного сидра во Франции; содержит геномы трех видов; высоко ароматен	очень сложная генетическая структура; трудность идентификации	[2]
	<i>S. cerevisiae</i> × <i>S. kudriavzevii</i> – NRRL Y-1912	гибрид из винного производства в США; хорошо адаптирован к низкой температуре	нестабильность хромосомного набора; ограниченное распространение	[2]
	<i>S. cerevisiae</i> × <i>S. kudriavzevii</i> – NRRL Y-53, UCD 40-9	улучшенный ароматический профиль; высокая выработка сложных эфиров	определяются как <i>S. cerevisiae</i> по морфологии; нужны молекулярные методы	[2]
киллерные штаммы дрожжей	<i>S. capensis</i> CBS 7903	подавляет дикие и нежелательные дрожжи, повышая микробиологическую стабильность; высокий синтез глицерина и летучих эфиров; улучшенные сенсорные характеристики	более низкий выход этанола; менее эффективен при высоких концентрациях сахара	[108]
	<i>S. cerevisiae</i> CBS 6505	убивает чувствительные дрожжи (в т.ч. дикие и контаминирующие); улучшает чистоту аромата сидра	может подавлять полезную микрофлору; требует стабильного pH и температуры	[108]
	<i>S. paradoxus</i> CBS 3702	высокая активность киллерного токсина при pH 4.2 и 28°C; эффективен против плесневых загрязнителей	может влиять на органолептику; требует контроля условий брожения	[108]

Культуры рода *Brettanomyces* (прежде всего *B. bruxellensis*) традиционно включается в производство крафтовых и выдержанных сидров, особенно в стилистике «natural» или «keeved». Благодаря специфической метаболической активности, в том числе способности к расщеплению сложных сахаров и продукции летучих фенолов, эти дрожжи формируют характерный аромат, включающий животные, кожистые, копченые и землистые ноты. Однако высокая устойчивость к этанолу, кислой среде и ограниченному содержанию кислорода делает *Brettanomyces* одновременно перспективной и рискованной культурой, требующей строгого микробиологического контроля.

Молочнокислые бактерии, представленные в таблице, являются ключевыми агентами яблочно-молочного брожения, трансформирующего яблочную кислоту в молочную, тем самым смягчая кислотность и формируя более округлый, гармоничный профиль сидра. Наиболее устойчивой и широко используемой культурой является *Oenococcus oeni*, отличающаяся толерантностью к низкому pH и высокой спиртоустойчивостью. Альтернативные виды, такие как *Lactiplantibacillus plantarum*, демонстрируют потенциал к биоконверсии ароматически активных соединений и формированию дополнительных сенсорных нюансов (древесные, пряные и ореховые ноты). Интерес представляют и смешанные культуры, основанные на синергетическом действии дрожжей и LAB, повышающих терпеновый и эфирный уровень, антиоксидантную активность и стойкость цвета.

Важно отметить наличие отечественных штаммов (Сидровая-101, Шампанская 7-10, Яблочная-7 и др.), адаптированных к климатическим и сырьевым условиям средней полосы России. Эти культуры демонстрируют стабильную ферментацию, гармоничный органолептический профиль и высокую совместимость с традиционными сортами яблок. Их использование развивает региональный терруарный подход в сидроделии, обеспечивая аутентичность и дифференциацию продукции на рынке.

Многообразие представленных культур подчеркивает ключевую роль микробиологического компонента в современном сидроделии. Точный подбор штаммов, их сочетание и контроль условий брожения позволяют управлять технологическим процессом на молекулярном уровне, формируя продукты с предсказуемыми, стабильными и конкурентоспособными характеристиками.

Заключение

Сегодня сидроделия представляет собой высокотехнологичную и биотехнологически насыщенную отрасль, ключевую роль в которой играют тщательно подобранные дрожжевые и бактериальные культуры. Данный обзор показывает разнообразие используемых микроорганизмов – от традиционных штаммов *Saccharomyces cerevisiae* и *S. bayanus* до гибридных форм и несакхаромицетных дрожжей, позволяющее управлять процессами ферментации и направленно формировать органолептический профиль продукта. Особый интерес представляют ко-ферментационные подходы, сочетающие дрожжи и молочнокислые бактерии, что открывает новые возможности в разработке функциональных, терруарных и премиальных сортов сидра.

Для России, где сидроделия находится в стадии активного становления, актуальны вопросы адаптации международных практик к местным условиям, селекции устойчивых культур и создания регионально идентифицируемых продуктов. Учитывая накопленный мировой и отечественный опыт, дальнейшее развитие отрасли связано с интеграцией молекулярных методов идентификации, селекцией высокоадаптивных штаммов и расширением номенклатуры используемых микробных культур. Эти усилия создают прочную основу для повышения технологической культуры производства сидра, роста его качества и конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках.

Литература

1. Cider market analysis by product type, packaging type, distribution channel and region through 2035. *Future Market Insights*. 2025. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/cider-market> (Accessed 11.05.2025).
2. Cousin F.J., Le Guellec R., Schlusshuber M., Dalmasso M., Laplace J.-M., Cretenet M. Microorganisms in fermented apple beverages: Current knowledge and future directions. *Microorganisms*. 2017, V. 5, Is. 3, article 39. DOI: 10.3390/microorganisms5030039
3. Liang J.R., Deng H., Hu C.Y., Zhao P.T., Meng Y.H. Vitality, fermentation, aroma profile, and digestive tolerance of the newly selected *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lacticaseibacillus paracasei* in fermented apple juice. *Front Nutr*. 2022, V. 9, article 1045347. DOI: 10.3389/fnut.2022.1045347

4. Balmaseda A., Lorentzen M., Dutilh L., Bauduin R., Guichard H., Ollivier S., Miot-Sertier C., Lucas P. M. Alcoholic fermentation drives the selection of *Oenococcus oeni* strains in wine but not in cider. *Int J Food Microbiol.* 2023, V. 400, article 110276. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110276
5. Zhou J., Wang X., Cao Y., Cheng Y., Li W., Mu H., Liang Y., Tian B., Zhao X., Song Y. Diversity and dynamics of microbial communities during spontaneous fermentation of different cultivars of apples from China and their relationship with the volatile components in the cider. *Food Res Int.* 2025, V. 206, article 116029. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.116029
6. Азаренко Е.В., Вожегова А.Ю. Государственный контроль деятельности предпринимателей на рынках алкогольной продукции // Актуальные вопросы развития субъектов малого и среднего предпринимательства: сб. тр. Ставрополь: Фабула, 2016. С. 311–318.
7. Хоконова М.Б., Хоконов А.Б. Оценка качественных показателей яблок для производства сидровых виноматериалов // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: сб. тр. Нальчик: Изд-во Кабардино-Балкарского гос. аграр. ун-та, 2021. С. 76–79.
8. Левгерова Н.С., Салина Е.С., Сидорова И.А., Седов Е.Н., Янчук Т.В. Технологические показатели плодов гибридных подвоев яблони и перспективы их использования в производстве сидра // Современное садоводство – Contemporary horticulture. 2021. № 3. С. 1–10. DOI: 10.24411/23126701_2021_0301.
9. Олешко Д.С. Экспертиза алкогольной продукции на примере яблочного сидра // Современные тенденции в общественном питании и сфере услуг: сб. тр. Тольятти: Изд-во Тольяттинского гос. ун-та, 2021. С. 50–54.
10. Лазарев В.А., Ледяев И.А. Обзорный анализ ассортимента и технологии производства сидра // Теоретический и практический потенциал современной науки: сб. ст. М.: Перо, 2022. С. 71–76.
11. Бурак Л.Ч., Яблонская В.В. Влияние химического состава и микрофлоры сырья на процесс брожения яблочного сока // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2021. № 3. DOI: 10.24411/2658-3569-2021-10056
12. Santos C.M.E., Alberti A., Pietrowski G.D.A.M., Zielinski A.A.F., Wosiacki G., Nogueira A., Jorge R.M.M. Supplementation of amino acids in apple must for the standardization of volatile compounds in ciders. *J Inst Brew.* 2016, V. 122, no. 2, pp. 334–341. DOI: 10.1002/jib.318
13. Оганнесян Ф.А., Баракова Н.В. Влияние температурных обработок на показатели качества яблочного сока // Энергоэффективные инженерные системы: сб. тр. СПб.: Изд-во Университета ИТМО, 2024. С. 304–305.
14. Аникеева Э.Н., Наркоцкий А.В., Рыкова Т.А., Аксеновский А.В. Современные и перспективные методы осветления плодовых соков // Наука и образование. 2020. Т. 3. № 3.
15. Hubert B., Baron A., Le Quere J.M., Renard C.M.M. Influence of prefermentary clarification on the composition of apple musts. *J Agric Food Chem.* 2007, V. 55, no. 13, pp. 5118–5122. DOI: 10.1021/jf0637224
16. Tarko T., Januszek M., Duda-Chodak A., Sroka P. How keiving determines oenological parameters and concentration of volatile compounds in ciders? *J Food Compos Anal.* 2021, V. 100, article 103897. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.103897
17. Samandarov A.I., Maksumova D.K., Dodaev K.O. Technological scheme for processing mulberry fruits for juice and concentrate. Mathematical modeling of the process of sediment decantation in juice. *Vestnik KazUTB.* 2023, V. 3, no. 20. DOI: 10.58805/kazutb.v.3.20-116
18. Shirvani A., Mirzaaghaei M., Goli S.A.H. Application of natural fining agents to clarify fruit juices. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2023, V. 22, no. 6, pp. 4190–4216. DOI: 10.1111/1541-4337.13207
19. Фаталиев Х.К., Алиева Ш.Э., Фаталиева Ш.Х. Исследование влияния осветляющих веществ на цветовые показатели соков и вин // Вестник науки. 2025. Т. 3. № 2. С. 595–610. DOI: 10.24412/2712-8849-2025-283-595-610
20. Григорьева А.А., Беляева И.Д., Беляева А.Д., Няникова Г.Г. Новый сорбент для осветления и стабилизации яблочного сидра // Пищевые технологии и биотехнологии: сб. тр. Казань: [б. и.], 2023. С. 178–182.
21. Awe S. Effect of clarifying agents (gelatin and kaolin) on fruit wine production. *Int J Agric Innov Res.* 2018, V. 6, no. 4, pp. 130–132.
22. Ahamad S., Choudpar G.K., Kumar R., Kumar A., Bihari C., Singh S., Srivastava V., Kumar M., Wamiq M. Enhancing clarity and quality: the role of clarifying agents in horticulture foods and formulations. *Int J Environ Clim Change.* 2023, V. 13, no. 11, pp. 549–559. DOI: 10.9734/IJECC/2023/v13i113199
23. Pogrebnyak A., Perkun I., Korneyev M., Haponenko S., Pogrebnyak V. Apple juice clarified by the polymeric flocculants. *Food Sci Technol.* 2022, V. 16, no. 3, pp. 89–95. DOI: 10.15673/fst.v16i3.2464
24. Cosme F., Vilela A. Chitin and chitosan in the alcoholic and non-alcoholic beverage industry: an overview. *Appl Sci.* 2021, V. 11, no. 23, article 11427. DOI: 10.3390/app112311427
25. Garai-Ibabe G., Irastorza A., Dueñas M.T., Martín-Álvarez P.J., Moreno-Arribas V.M. Evolution of amino acids and biogenic amines in natural ciders as a function of the year and the manufacture steps. *Int J Food Sci Technol.* 2013, V. 48, no. 2, pp. 375–381. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03198.x
26. Чалдаев П.А., Кашаев А.Г., Леучев А.Г., Мальшукин С.С. Влияние вида дрожжей на качество сидрового материала // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 2. С. 220–224. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-220-224

27. Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Громова Е.А. Исследование влияния рас дрожжей на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра // Вестник Воронежского гос. ун-та инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 4. С. 17–23. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-4-17-23
28. Миронова Е.А., Олексюк В.В. Купажирование дрожжевых культур в пивоварении // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. ст. Краснодар: Изд-во Кубан. гос. аграр. ун-та, 2020. С. 412–418.
29. Наумова Е.С., Мартыненко Н.Н., Наумов Г.И. Молекулярная диагностика винных дрожжей гибридного происхождения *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces kudriavzevii* // Биотехнология. 2009. № 2. С. 21–29.
30. Закиров Р.З., Докучаева И.С. Технология сидра: практические аспекты // Юность и знания – гарантия успеха – 2024: сб. тр. Курск: Изд-во Университетская книга, 2024. С. 15–19.
31. Cerri M.L., Gomes T.A., Carraro M.D.M., Wojeicchowski J.P., Demiate I.M., Lacerda L.G., Alberti A., Nogueira A. Assessing the impact of simultaneous co-fermentation on malolactic bioconversion and the quality of cider made with low-acidity apples. *Fermentation*. 2023, V. 9, no. 12, article 1017. DOI: 10.3390/fermentation9121017
32. Chen X., Lin M., Hu L., Xu T., Xiong D., Li L., Zhao Z. Research on the effect of simultaneous and sequential fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* on antioxidant activity and flavor of apple cider. *Fermentation* 2023, V. 9, no. 2, article 102. DOI: 10.3390/fermentation9020102
33. González-Royo E., Pascual O., Kontoudakis N., Esteruelas M., Esteve-Zarzoso B., Mas A., Canals J.M., Zamora F. Oenological consequences of sequential inoculation with non-*Saccharomyces* yeasts (*Torulaspora delbrueckii* or *Metschnikowia pulcherrima*) and *Saccharomyces cerevisiae* in base wine for sparkling wine production. *Eur Food Res Technol*. 2015, V. 240, pp. 999–1012. DOI: 10.1007/s00217-014-2404-8
34. Muñoz-Redondo J.M., Puertas B., Cantos-Villar E., Jiménez-Hierro M.J., Carbú M., Garrido C., Ruiz-Moreno M.J., Moreno-Rojas J.M. Impact of sequential inoculation with the non-*Saccharomyces* *T. delbrueckii* and *M. pulcherrima* combined with *Saccharomyces cerevisiae* strains on chemicals and sensory profile of rosé wines. *J Agric Food Chem*. 2021, V. 69, no. 5, pp. 1598–1609. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c06970
35. Einfalt D. Barley-sorghum craft beer production with *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* and *Metschnikowia pulcherrima* yeast strains. *Eur Food Res Technol*. 2021, V. 247, no. 2, pp. 385–393. DOI: 10.1007/s00217-020-03632-7
36. Сезганова Е.Н., Кайда А.А., Копылова А.А., Павлова А.Ю., Байрамова А.О., Баракова Н.В. Влияние сухих и прессованных дрожжей на сбраживание яблочного сока // Энергоэффективные инженерные системы: сб. тр. СПб.: Изд-во Университета ИТМО, 2024. С. 279–280.
37. Лопатова Н.Л. Технология производства сидра из яблок // Агротехнологии XXI века: сб. тр. Пермь: Прокрость, 2021. С. 122–126.
38. Иванченко К.В. Влияние применения ферментных препаратов на изменение физико-химических свойств виноматериалов для производства сидра // Виноградарство и виноделие. 2013. № 3. С. 33–34.
39. Оганнисян Ф.А., Алхатиб Р., Аль-Ясари А.Х., Баракова Н.В. Выбор ферментного препарата для обработки яблочной мякоти // Биотехнологии и безопасность в техносфере: сб. тр. СПб.: Политех-Пресс, 2023. С. 131–132.
40. Пищиков Г.Б., Куликова А.С. Активация дрожжей ультразвуковой обработкой для вторичного брожения игристого сидра // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: сб. тр. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. эконом. ун-та, 2022. С. 96–100.
41. Куликова А.С. Исследование влияния обработки дрожжей ультразвуком на интенсивность брожения и качественные показатели игристого сидра // Россия и мир в новых реалиях: изменение мирохозяйственных связей: сб. тр. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. экон. ун-та, 2022. Т. 3. С. 54–56.
42. Moore A.N. Impact of yeast nutrient supplementation strategies on hydrogen sulfide production during cider fermentation. *Master's thesis*. Virginia Tech. 2020.
43. Adamenko K., Kawa-Rygielska J., Kucharska A., Piórecki N. Fruit low-alcoholic beverages with high contents of iridoids and phenolics from apple and Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fermented with *Saccharomyces bayanus*. *Pol J Food Nutr Sci*. 2019, V. 69, no. 3, pp. 307–317. DOI: 10.31883/pjfn/111405
44. Кучерявый Л.М. Разработка технологии производства яблочных игристых вин на основе направленного регулирования и интенсификации процесса вторичного брожения: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 135 с.
45. Бойко И.Е., Мариненко О.Е., Гишова С.А., Слюхов Х.Р. Обоснование выбора оптимальных рас дрожжей для производства игристого сидра // Новые технологии. 2022. Т. 18. № 4. С. 26–34. DOI: 10.47370/2072-0920-2022-18-4-26-34
46. Мингазов С. Сидр в России обошел другие алкогольные напитки по темпам роста продаж [Электронный ресурс] // Forbes. 2023. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/487038-sidr-vysel-v-lidery-po-temпам-rosta-prodaz-v-rossii-sredi-alkogol-nyh-napitkov> (дата обращения 17.11.2024).
47. Романюк Е.П., Нилова Л.П. Яблочный сидр – вектор развития рынка алкогольной продукции // Наука молодых – будущее России: сб. науч. ст. Курск: Университетская книга, 2018. Т. 5. С. 143–147.
48. Кошкина А.С., Альшевский Д.Л. Совершенствование технологии яблочного сидра с использованием дикорастущих плодов и ягод Калининградской области // Известия КГТУ. 2021. № 62. С. 106–119. DOI: 10.46845/1997-3071-2021-62-106-119

49. Колтышева О.Ю., Соколова С.А., Дьяконова О.В., Колобаева А.А., Котик О.А. Сравнение результатов спектрофотометрического и перманганатометрического определения содержания танинов в яблочном соке для производства сидра // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 3-2. С. 250–253.
50. Барышева И.Н. Яблочные напитки функционального назначения // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. ст. Краснодар: Кубан. гос. аграр. ун-т, 2016. С. 400–409.
51. Воронина Е.С., Панова Т.М., Старцева Л.Г. Исследование процесса получения яблочного сидра // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: сб. тр. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. лесотехн. ун-та, 2023. С. 776–780.
52. Merwin I.A., Valois S., Padilla-Zakour O. Cider apples and cider-making techniques in Europe and North America. In Janick J. (Ed.) *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, Inc. 2008, V. 34, pp. 365–415. DOI: 10.1002/9780470380147.ch6
53. Ширшова А.А., Агеева Н.М., Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А. Изучение трансформации компонентного состава плодов яблони в сидр // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 1. С. 159–167. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-1-2423
54. Иванченко К.В., Мухтаров Р.Я. Влияние изменения фенольно-кислотного показателя яблочного сусла на качественные показатели сидра газированного полугристого // Науч. тр. Юж. фил. НУБиП Украины «Крым. агротехнол. ун-т». Сер. Техн. науки. 2011. № 138. С. 113–119.
55. Tripathi S. Health benefits and modern applications of apple cider vinegar: A four-decade review of the scientific literature. *BJMHS*. 2023, V. 5, no. 8, pp. 1441–1450.
56. Vidot K., Rivard C., Van Vooren G., Siret R., Lahaye M. Metallic ions distribution in texture and phenolic content contrasted cider apples. *Postharvest Biology and Technology*. 2020, V. 160, article 111046. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2019.111046
57. Zuriarrain-Ocio A., Zuriarrain J., Etxebeste O., Dueñas M.T., Berregi I. Evolution of main polyphenolics during cidermaking. *LWT*. 2022, V. 167, article 113798. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113798
58. Zuriarrain-Ocio A., Zuriarrain J., Vidal M., Dueñas M.T., Berregi I. Antioxidant activity and phenolic profiles of ciders from the Basque Country. *Food Biosci.* 2021, V. 41, article 100887. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.100887
59. Агеева Н.М., Прах А.В., Ширшова А.А., Аванесьянц Р.В., Блягоз А.Р. Совершенствование технологии производства и стабилизации фруктовых вин // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2019. № 55. С. 131–143. DOI: 10.30679/2219-5335-2019-1-55-131-143
60. Rosend J., Kaleda A., Kuldjäv R., Arju G., Nisamedtinov I. The effect of apple juice concentration on cider fermentation and properties of the final product. *Foods*. 2020, V. 9, no. 10, article 1401. DOI: 10.3390/foods9101401
61. Gavahian M., Manyatsi T.S., Morata A., Tiwari B.K. Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2022, V. 21, no. 6, pp. 5243–5271. DOI: 10.1111/1541-4337.13043
62. Al Daccache M., Koubaa M., Salameh D., Maroun R.G., Louka N., Vorobiev E. Ultrasound-assisted fermentation for cider production from Lebanese apples. *Ultrason Sonochem.* 2020, V. 63, article 104952. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104952
63. Dzialo M.C., Park R., Steensels J., Lievens B., Verstrepen K.J. Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS Microbiol Rev.* 2017, V. 41, Is. Supp_1, pp. S95–S128. DOI: 10.1093/femsre/ufx031
64. Wu Y., Li Z., Zou S., Dong L., Lin X., Chen Y., Zhang S., Ji Ch., Liang H. Chemical composition and flavor characteristics of cider fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces cerevisiae*. *Foods*. 2023, V. 12, no. 19, article 3565. DOI: 10.3390/foods12193565
65. Ge Q., Guo C., Zhang J., Yan Y., Zhao D., Li C., Sun X., Ma T., Yue T., Yuan Y. Effects of simultaneous co-fermentation of five indigenous non-*Saccharomyces* strains with *S. cerevisiae* on Vidal icewine aroma quality. *Foods*. 2021, V. 10, no. 7, article 1452. DOI: 10.3390/foods10071452
66. Бурнера П.-И. Методы производства сидра. Технологии для улучшения качества продукта [Электронный ресурс] // IOC. 2021. URL: https://ioc.eu.com/wp-content/uploads/2021/02/CIDER_n03-20_f3.pdf (дата обращения 19.11.2024)
67. Jolicœur C. *Cider Planet: Exploring the producers, practices, and unique traditions of craft cider and perry from around the world*. Chelsea Green Publ., 2022. 336 p.
68. United States Association of Cider Makers. *Cider Association*. 2023. URL: <https://ciderassociation.org/2023-cider-report/> (Accessed 02.05.2025)
69. Global Cider Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2023–2028). *Mordor Intelligence*. 2025. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cider-market> (Accessed 02.05.2025)
70. Troncozo S. Consumer perception and preference for hard seltzers in Portugal: exploring the factors and trends driving alcohol choice: a systematic review of wine, cider, beer, and hard seltzer. Master's thesis. Lisbon: Nova School of Business and Economics, 2023. 77 p.
71. Полушин А.С., Ременная Е.А. Обзор перспективных направлений производства алкогольной продукции на основе яблочного сырья // Вестник молодежной науки. 2016. № 4. С. 16–20.

72. Ширшова А.А., Агеева Н.М., Ульяновская Е.В., Храпов А.А., Чернуцкая Е.А. Сидры. Актуальные вопросы отрасли // Традиционная и инновационная наука: сб. ст. СПб.: Междунар. ин-т перспектив. исслед., 2023. С. 33–41. DOI: 10.58351/230316.2023.82.83.003
73. Ширшова А.А., Агеева Н.М., Ульяновская Е.В., Храпов А.А., Чернуцкая Е.А. Нано-, био- и когнитивные технологии в производстве сидров и плодовой алкогольной продукции // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2024. № 88. С. 97–106. DOI: 10.30679/2219-5335-2024-4-88-97-106
74. Hu L., Chen X., Cao Y., Gao P., Xu T., Xiong D., Zhao Z. *Lactiplantibacillus plantarum* exerts strain-specific effects on malolactic fermentation, antioxidant activity, and aroma profile of apple cider. *Food Chem.* X. 2024, V. 23, article 101575. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101575
75. Padilla B., Gil J.V., Manzanares P. Past and future of non-*Saccharomyces* yeasts: From spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity. *Front Microbiol.* 2016, V. 7, article 411. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00411
76. Gschaedler A., Iñiguez-Muñoz L.E., Flores-Flores N.Y., Kirchmayr M., Arellano-Plaza M. Use of non-*Saccharomyces* yeasts in cider fermentation: Importance of the nutrients addition to obtain an efficient fermentation. *Int J Food Microbiol.* 2021, V. 347, article 109169. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109169
77. Magalhães F., Krogerus K., Vidgren V., Sandell M., Gibson B. Improved cider fermentation performance and quality with newly generated *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces eubayanus* hybrids. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 2017, V. 44, no. 8, pp. 1203–1213. DOI: 10.1007/s10295-017-1947-7
78. Садькова А.А. Генетические основы селекции ферментационных дрожжей *Saccharomyces* и *Kluyveromyces*: дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2016. 148 с.
79. Payea M.J., Sloma M.F., Kon Y., Young D.L., Guy M.P., Zhang X., De Zoysa T., Fields S., Mathews D.H., Phizicky E.M. Widespread temperature sensitivity and tRNA decay due to mutations in a yeast tRNA. *RNA.* 2018, V. 24, no. 3, pp. 410–422. DOI: 10.1261/rna.064642.117
80. SafCider™ AB-1: Product description. *Fermentis*. 2025. URL: <https://fermentis.com/en/product/safcider-ab-1/> (Accessed 02.05.2025)
81. Yu W., Zhu Y., Zhu R., Bai J., Qiu J., Wu Y., Zhong K., Gao H. Insight into the characteristics of cider fermented by single and co-culture with *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* based on metabolomic and transcriptomic approaches. *LWT.* 2022, V. 163, article 113538. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113538
82. Новикова А.А. Биотехнология пива с применением дрожжей *Brettanomyces*: особенности производства и новый ароматический профиль: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2019. 148 с.
83. Conterno L., Joseph C.L., Arvik T.J., Henick-Kling T., Bisson L.F. Genetic and physiological characterization of *Brettanomyces bruxellensis* strains isolated from wines. *Am J Enol Vitic.* 2006, V. 57, no. 2, pp. 139–147. DOI: 10.5344/ajev.2006.57.2.139
84. Steensels J., Daenen L., Malcorps P., Derdelinckx G., Verachttert H., Verstrepen K.J. *Brettanomyces* yeasts – from spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *Int J Food Microbiol.* 2015, V. 206, pp. 24–38. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.005
85. Mecca D., Benito S., Beisert B., Brezina S., Fritsch S., Semmler H., Rauhut D. Influence of nutrient supplementation on *Torulaspora delbrueckii* wine fermentation aroma. *Fermentation.* 2020, V. 6, no. 1, article 35. DOI: 10.3390/fermentation6010035
86. Tocci N., Egger M., Hoellrigl P., Sanoll C., Beisert B., Brezina S., Fritsch S., Schnell S., Rauhut D., Conterno L. *Torulaspora delbrueckii* strain behaviour within different refermentation strategies for sparkling cider production. *Appl. Sci.* 2023, V. 13, no. 6, article 4015. DOI: 10.3390/app13064015
87. Zeng C., Mu Y., Yuan J., Zhang H., Song J., Kang S. Effects of *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* co-fermentation on the physicochemical and flavor compounds of Huanian apple cider. *Molecules.* 2024, V. 29, no. 8, article 1750. DOI: 10.3390/molecules29081750
88. Fernandes T., Silva-Sousa F., Pereira F., Rito T., Soares P., Franco-Duarte R., Sousa M.J. Biotechnological importance of *Torulaspora delbrueckii*: From the obscurity to the spotlight. *J Fungi.* 2021, V. 7, no. 9, article 712. DOI: 10.3390/jof7090712
89. Wang Y., Qi X.Y., Fu Y., Zhang Q., Wang X.H., Cui M.Y., Ma Y.Y., Gao X.L. Effects of *Torulaspora delbrueckii* co-fermented with *Saccharomyces cerevisiae* on physicochemical and aromatic profiles of blueberry fermented beverage. *Food Chem.* 2023, V. 409, article 135284. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135284
90. Kristof I., Ledesma S.C., Apud G.R., Vera N.R., Fernández P.A.A. *Oenococcus oeni* allows the increase of antihypertensive and antioxidant activities in apple cider. *Heliyon.* 2023, V. 9, no. 6, article e16806. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16806
91. Li C.X., Zhao X.H., Zuo W.F., Zhang T.L., Zhang Z.Y., Chen X.S. The effects of simultaneous and sequential inoculation of yeast and autochthonous *Oenococcus oeni* on the chemical composition of red-fleshed apple cider. *LWT.* 2020, V. 124, article 109184. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109184
92. Devi A., Anu-Appaiah K.A. Mixed malolactic co-culture (*Lactobacillus plantarum* and *Oenococcus oeni*) with compatible *Saccharomyces* influences the polyphenolic, volatile and sensory profile of Shiraz wine. *LWT.* 2021, V. 135, article 110246. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110246

93. Zhang B., Liu D., Liu H., Shen J., Zhang J., He L., Li J., Zhou P., Guan X., Liu S., Shi K. Impact of indigenous *Oenococcus oeni* and *Lactiplantibacillus plantarum* species co-culture on *Cabernet Sauvignon* wine malolactic fermentation: Kinetic parameters, color and aroma. *Food Chem. X.* 2024, V. 22, article 101369. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101369
94. Sombolostani A.S., Cleenwerck I., Cnockaert M., Borremans W., Wieme A.D., De Vuyst L., Vandamme P. Novel acetic acid bacteria from cider fermentations: *Acetobacter conturbans* sp. nov. and *Acetobacter fallax* sp. nov. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2020, V. 70, no. 12, pp. 6163–6171. DOI: 10.1099/ijsem.0.004511
95. Yassunaka-Hata N.N., Surek M., Sartori D., Serrato R.V., Spinosa W.A. Role of acetic acid bacteria in food and beverages. *Food Technol Biotechnol.* 2023, V. 61, no. 1, pp. 85–103. DOI: 10.17113/ftb.61.01.23.7811
96. Misery B., Legendre P., Rué O., Bouchart V., Guichard H., Laplace J.M., Cretenet M. Diversity and dynamics of bacterial and fungal communities in cider for distillation. *Int J Food Microbiol.* 2021, V. 339, article 108987. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108987
97. Nogueira A., Wosiacki G. Apple cider fermentation. In Hui Y.H., Özgül Evranuz E. (Eds.) *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology*. Boca Raton: CRC Press, 2012. Ch. 12.
98. Dorignac E. Exploring diversity of cider profiles through the selection of new yeast strains. *Fermentis*. URL: <https://fermentis.com/en/knowledge-center/expert-insights/cider/exploring-cider-profiles> (Accessed 11.05.2025)
99. Iskandaryan A.K., Mikayelyan M.N., Gevorgyan E.R. Investigation of the possibility of cider production in Armenia using different dry active yeasts. *AgriSciens and Technology.* 2022, no. 4, pp. 422–427. DOI: 10.52276/25792822-2022.4-422
100. Bedriñana R.P., Picinelli-Lobo A., Madrera R.R., Valles B.S. New ciders made by an exhaustion method: an option to valorise subproducts from the making of ice ciders. *Beverages.* 2021, V. 7, no. 4, article 75. DOI: 10.3390/beverages7040075
101. Bedriñana R.P., Mangas Alonso J.J., Valles B.S. Evaluation of autochthonous *Saccharomyces bayanus* strains under stress conditions for making ice ciders. *LWT – Food Science Technology.* 2017, V. 81, pp. 217–225. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.03.055
102. Kelly J., Yang F., Dowling L., Nurgel C., Beh A., Di Profio F., Pickering G., Inglis D.L. Characterization of *Saccharomyces bayanus* CN1 for fermenting partially dehydrated grapes grown in cool climate winemaking regions. *Fermentation.* 2018, V. 4, no. 3, p. 77. DOI: 10.3390/fermentation4030077
103. Алексанян К.А., Тананайко Т.М., Ткачук Л.А. Изучение вторичных продуктов спиртового брожения в производстве плодовых вин // *Империя напитков*. 2006. № 2. С. 8–10.
104. Войцеховский В.И., Токарь А.Е., Ребезов М.Б. Качество сидровых виноматериалов в зависимости от сорта яблок и расы дрожжей // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2014. Т. 2, № 4. С. 42–49.
105. Бахареv В.В., Киселева Н.А. Влияние добавок витаминов на суммарную антиоксидантную активность яблочного вина // *Виноделие и виноградарство*. 2012. № 5. С. 28–29.
106. Riekstina-Dolge R., Kruma Z., Cinkmanis I., Straumite E., Sabovics M., Tomsone L. Influence of *Oenococcus oeni* and oak chips on the chemical composition and sensory properties of cider. *9th Baltic Conference on Food Science and Technology – Foodbalt. Collection of works*. Jelgava: Drukātava Publ., 2014, pp. 178–183.
107. Киселева Н.А., Бахареv В.В. Исследование состава спирта-сырца в зависимости от сорта яблок, выращенных в Самарской области // *Инновационные технологии в пищевой промышленности: сб. тр.* Самара: Изд-во Самарский гос. техн. ун-т, 2016. С. 67–69.
108. Satora P., Cioch M., Tarko T., Wołkiewicz J. Killer strains of *Saccharomyces*: application for apple wine production. *J Inst Brew.* 2016, V. 122, no. 3, pp. 412–421. DOI: 10.1002/jib.338

References

1. Cider market analysis by product type, packaging type, distribution channel and region through 2035. *Future Market Insights*. 2025. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/cider-market> (Accessed 11.05.2025).
2. Cousin F.J., Le Guellec R., Schlusshuber M., Dalmasso M., Laplace J.-M., Cretenet M. Microorganisms in fermented apple beverages: Current knowledge and future directions. *Microorganisms.* 2017, V. 5, Is. 3, article 39. DOI: 10.3390/microorganisms5030039
3. Liang J.R., Deng H., Hu C.Y., Zhao P.T., Meng Y.H. Vitality, fermentation, aroma profile, and digestive tolerance of the newly selected *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lactocaseibacillus paracasei* in fermented apple juice. *Front. Nutr.* 2022, V. 9, article 1045347. DOI: 10.3389/fnut.2022.1045347
4. Balmaseda A., Lorentzen M., Dutilh L., Bauduin R., Guichard H., Ollivier S., Miot-Sertier C., Lucas P. M. Alcoholic fermentation drives the selection of *Oenococcus oeni* strains in wine but not in cider. *Int. J. Food Microbiol.* 2023, V. 400, article 110276. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110276
5. Zhou J., Wang X., Cao Y., Cheng Y., Li W., Mu H., Liang Y., Tian B., Zhao X., Song Y. Diversity and dynamics of microbial communities during spontaneous fermentation of different cultivars of apples from China and their relationship with the volatile components in the cider. *Food Res. Int.* 2025, V. 206, article 116029. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.116029

6. Azarenko E.V., Vozhegova A.Y. State control of entrepreneurs' activities in alcoholic products market. *Aktualnye Voprosy Razvitiya Subektov Malogo i Srednego Predprinimatelstva. Collection of works*. Stavropol: Fabula Publ., 2016, pp. 311–318. (In Russian)
7. Khokonova M.B., Khokonov A.B. Assessment of qualitative indicators of apples for the production of cider wine materials. *Selskokhozyaystvennoe Zemlepolzovanie i Prodovolstvennaya Bezopasnost'. Collection of works*. Nalchik: KBGAU Publ., 2021, pp. 76–79. (In Russian)
8. Levgerova N.S., Salina E.S., Sidorova I.A., Sedov E.N., Yanchuk T.V. Technological indicators of the fruits of hybrid apple rootstocks and the prospects of their use in the production of cider // *Sovremennoe Sadovodstvo – Contemporary Horticulture*. 2021, no. 3, pp. 1–10. DOI: 10.24411/23126701_2021_0301. (In Russian)
9. Oleshko D.S. Expertise of alcoholic products on example of apple cider. *Sovremennye Tendentsii v Obshchestvennom Pitanii i Sfere Uslyg. Collection of works*. Tolyatti, TGU Publ., 2021, pp. 50–54. (In Russian)
10. Lazarev V.A., Ledyayev I.A. Review analysis of the range and technology of cider production. *Teoreticheskii i Prakticheskii Potentsial Sovremennoi Nauki. Collection of works*. Moscow, Pero Publ., 2022, pp. 71–76. (In Russian)
11. Burak L.Ch., Yablonskaya V.V. Influence of chemical composition and microflora of raw materials on the process of apple juice fermentation. *Int J Appl Sci Technol Integral*. 2021, no. 3. DOI: 10.24411/2658-3569-2021-10056. (In Russian)
12. Santos C.M.E., Alberti A., Pietrowski G.D.A.M., Zielinski A.A.F., Wosiacki G., Nogueira A., Jorge R.M.M. Supplementation of amino acids in apple must for the standardization of volatile compounds in ciders. *J Inst Brew*. 2016, V. 122, no. 2, pp. 334–341. DOI: 10.1002/jib.318
13. Ogannesyan F.A., Barakova N.V. Influence of thermal treatments on quality indicators of apple juice. *Energoeffektivnye Inzhenernye Sistemy. Collection of works*. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2024, pp. 304–305. (In Russian)
14. Anikieva E.N., Narkotsky A.V., Rykova T.A., Aksenovsky A.V. Modern and promising methods clarification of fruit juices. *Nauka i Obrazovanie*. 2020, V. 3, no. 3. (In Russian)
15. Hubert B., Baron A., Le Quere J.M., Renard C.M.M. Influence of prefermentary clarification on the composition of apple musts. *J Agric Food Chem*. 2007, V. 55, no. 13, pp. 5118–5122. DOI: 10.1021/jf0637224
16. Tarko T., Januszek M., Duda-Chodak A., Sroka P. How keiving determines oenological parameters and concentration of volatile compounds in ciders? *J Food Compos Anal*. 2021, V. 100, article 103897. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.103897
17. Samandarov A.I., Maksumova D.K., Dodaev K.O. Technological scheme for processing mulberry fruits for juice and concentrate. Mathematical modeling of the process of sediment decantation in juice. *Vestn. KazUTB*. 2023, V. 3, no. 20. DOI: 10.58805/kazutb.v.3.20-116
18. Shirvani A., Mirzaaghaei M., Goli S.A.H. Application of natural fining agents to clarify fruit juices. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*. 2023, V. 22, no. 6, pp. 4190–4216. DOI: 10.1111/1541-4337.13207
19. Fataliyev H.K., Aliyeva Sh.E., Fataliyeva Sh.H. Study of clarifying agents on color indices of juices and wines. *Vestnik Nauki*. 2025, V. 3, no. 2, pp. 595–610. DOI: 10.24412/2712-8849-2025-283-595-610 (In Russian)
20. Grigorieva A.A., Beliaeva I.D., Beliaeva A.D., Nianikova G.G. New sorbent for clarification and stabilization of apple cider. *Pishchevye Tekhnologii i Biotekhnologii. Collection of works*. Kazan, KNITU Publ., 2023, pp. 178–182. (In Russian)
21. Awe S. Effect of clarifying agents (gelatin and kaolin) on fruit wine production. *Int. J. Agric. Innov. Res*. 2018, V. 6, no. 4, pp. 130–132.
22. Ahamad S., Choudpar G.K., Kumar R., Kumar A., Bihari C., Singh S., Srivastava V., Kumar M., Wamiq M. Enhancing clarity and quality: the role of clarifying agents in horticulture foods and formulations. *Int J Environ Clim Change*. 2023, V. 13, no. 11, pp. 549–559. DOI: 10.9734/IJECC/2023/v13i113199
23. Pogrebnyak A., Perkun I., Korneyev M., Haponenko S., Pogrebnyak V. Apple juice clarified by the polymeric flocculants. *Food Sci Technol*. 2022, V. 16, no. 3, pp. 89–95. DOI: 10.15673/fst.v16i3.2464
24. Cosme F., Vilela A. Chitin and chitosan in the alcoholic and non-alcoholic beverage industry: an overview. *Appl Sci*. 2021, V. 11, no. 23, article 11427. DOI: 10.3390/app112311427
25. Garai-Ibabe G., Irastorza A., Dueñas M.T., Martín-Álvarez P.J., Moreno-Arribas V.M. Evolution of amino acids and biogenic amines in natural ciders as a function of the year and the manufacture steps. *Int J Food Sci Technol*. 2013, V. 48, no. 2, pp. 375–381. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03198.x
26. Chaldae P.A., Kashaev A.G., Leuchev A.E., Malyshekin S.S. Influence of the type of yeast on quality of cider material. *Proc. VSUET*. 2018, V. 80, no. 2, pp. 220–224. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-220-224 (In Russian)
27. Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Gromova E.A. Study of the influence of yeast races on the fermentation process in the production of non-alcoholic cider. *Proc. VSUET*. 2022, V. 84, no. 4, pp. 17–23. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-4-17-23. (In Russian)
28. Mironova E.A., Oleksiuk V.V. Blending of yeast cultures in brewing. *Sovremennye Aspekty Proizvodstva I Pererabotki Sel'skokhozyaystvennoi Produktsii. Collection of works*. Krasnodar, KubSAU Publ., 2020, pp. 412–418. (In Russian)
29. Naumova E.S., Martynenko N.N., Naumov G.I. Molecular diagnostics of wine yeasts of hybrid origin *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces kudriavzevii*. *Biotekhnologiya*. 2009, no. 2, pp. 21–29. (In Russian)

30. Zakirov R.Z., Dokuchaeva I.S. Cider technology: practical aspects. *Yunost' i Znaniya – Garantiya Uspekha – 2024. Collection of works*. Kursk, Universitetskaya Kniga Publ., 2024. pp. 15–19. (In Russian)
31. Cerri M.L., Gomes T.A., Carraro M.D.M., Wojeicchowski J.P., Demiate I.M., Lacerda L.G., Alberti A., Nogueira A. Assessing the impact of simultaneous co-fermentation on malolactic bioconversion and the quality of cider made with low-acidity apples. *Fermentation*. 2023, V. 9, no. 12, article 1017. DOI: 10.3390/fermentation9121017
32. Chen X., Lin M., Hu L., Xu T., Xiong D., Li L., Zhao Z. Research on the effect of simultaneous and sequential fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* on antioxidant activity and flavor of apple cider. *Fermentation* 2023, V. 9, no. 2, article 102. DOI: 10.3390/fermentation9020102
33. González-Royo E., Pascual O., Kontoudakis N., Esteruelas M., Esteve-Zarzoso B., Mas A., Canals J.M., Zamora F. Oenological consequences of sequential inoculation with non-*Saccharomyces* yeasts (*Torulaspora delbrueckii* or *Metschnikowia pulcherrima*) and *Saccharomyces cerevisiae* in base wine for sparkling wine production. *Eur Food Res Technol*. 2015, V. 240, pp. 999–1012. DOI: 10.1007/s00217-014-2404-8
34. Muñoz-Redondo J.M., Puertas B., Cantos-Villar E., Jiménez-Hierro M.J., Carbú M., Garrido C., Ruiz-Moreno M.J., Moreno-Rojas J.M. Impact of sequential inoculation with the non-*Saccharomyces* *T. delbrueckii* and *M. pulcherrima* combined with *Saccharomyces cerevisiae* strains on chemicals and sensory profile of rosé wines. *J. Agric. Food Chem*. 2021, V. 69, no. 5, pp. 1598–1609. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c06970
35. Einfalt D. Barley-sorghum craft beer production with *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* and *Metschnikowia pulcherrima* yeast strains. *Eur. Food Res. Technol*. 2021, V. 247, no. 2, pp. 385–393. DOI: 10.1007/s00217-020-03632-7
36. Sezganova E.N., Kaida A.A., Kopylova A.A., Pavlova A.Yu., Bairamova A.O., Barakova N.V. Influence of dry and pressed yeasts on apple juice fermentation. *Energoeffektivnye Inzhenernye Sistemy. Collection of works*. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2024, pp. 279–280. (In Russian)
37. Lopaeva N.L. Cider production technology from apples. *Agrotekhnologii XXI Veka. Collection of works*. Perm, Prokrost Publ., 2021, pp. 122–126. (In Russian)
38. Ivanchenko K.V. Influence of enzyme preparations on the change in physicochemical properties of wine materials for cider production. *Natsional'nyi Institut Vinograda i Vina "Magarach". Vinogradarstvo i Vinodelie*. 2013, no. 3, pp. 33–34. (In Russian)
39. Ogannesyan F.A., Alkhatib R., Al-Yasari A.Kh., Barakova N.V. Selection of enzyme preparation for apple pomace treatment. *Biotehnologii i Bezopasnost' v Tekhnosfere. Collection of works*. St. Petersburg: Politekh-Press Publ., 2023, pp. 131–132. (In Russian)
40. Pishchikov G.B., Kulikova A.S. Yeast activation by ultrasonic treatment for secondary fermentation of sparkling cider. *Innovatsionnye Tekhnologii v Pishchevoi Promyshlennosti i Obshchestvennom Pitanii. Collection of works*. Ekaterinburg, UrGEU Publ., 2022, pp. 96–100. (In Russian)
41. Kulikova A.S. Study of the effect of ultrasonic treatment of yeast on fermentation intensity and quality parameters of sparkling cider. *Rossiya i Mir v Novykh Real'yakh: Izmenenie Mirokhozyaystvennykh Suyazei. Collection of works*. Ekaterinburg, UrGEU Publ., 2022, V. 3, pp. 54–56. (In Russian)
42. Moore A.N. Impact of yeast nutrient supplementation strategies on hydrogen sulfide production during cider fermentation. *Master's thesis*. Virginia Tech, 2020. 107 p.
43. Adamenko K., Kawa-Rygielska J., Kucharska A., Piórecki N. Fruit low-alcoholic beverages with high contents of iridoids and phenolics from apple and Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fermented with *Saccharomyces bayanus*. *Pol J Food Nutr Sci*. 2019, V. 69, no. 3, pp. 307–317. DOI: 10.31883/pjfn/111405
44. Kucheryavyi L.M. Development of technology for the production of apple sparkling wines based on targeted regulation and intensification of the secondary fermentation process. *Candidate's thesis*. Moscow, 2010. 135 p. (In Russian)
45. Boyko I.E., Marinenko O.V., Gisheva S.A., Siyukhov Kh.R. Rationale for choosing optimal yeast races for the production of sparkling cider. *New Technologies (Majkop)*. 2022, V. 18, no. 4, pp. 26–34. DOI: 10.47370/2072-0920-2022-18-4-26-34 (In Russian)
46. Mingazov S. Cider in Russia has outpaced other alcoholic beverages in sales growth. *Forbes*. 2023. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/487038-sidr-vysel-v-lidery-po-tempam-rosta-prodaz-v-rossii-sredi-alkogol-nyh-napitkov> (Accessed 17.11.2024) (In Russian)
47. Romanyuk E.P., Nilova L.P. Apple cider – a vector for the development of the alcoholic beverage market. *Nauka Molodykh – Budushchee Rossii. Collection of works*. Kursk, Universitetskaya Kniga Publ., 2018, V. 5, pp. 143–147. (In Russian)
48. Koshkina A.S., Alshevskiy D.L. Technological improvement of apple cider recipe using wild fruits and berries of the Kaliningrad Region. *KSTU News*. 2021, no. 62, pp. 106–119. DOI: 10.46845/1997-3071-2021-62-106-119 (In Russian)
49. Koltysheva O.Y., Sokolova S.A., Dyakonova O.V., Kolobaeva A.A., Kotik O.A. The comparison of spectrophotometric and permanganatometric results of determination of tannins content in apple juice for the production of cider. *International Student Scientific Bulletin*. 2018, no. 3-2, pp. 250–253. (In Russian)

50. Barysheva I.N. Apple-based beverages of functional purpose. *Sovremennye Aspekty Proizvodstva i Pererabotki Sel'skokhozyaistvennoi Produktsii. Collection of works*. Krasnodar, KubGAU Publ., 2016, pp. 400–409. (In Russian)
51. Voronina Y.S., Panova T.M., Startseva L.G. Investigation of the process of obtaining apple cider. *Nauchnoe Tvorchestvo Molodezhi – Lesnomu Kompleksu Rossii. Collection of works*. Ekaterinburg, UrLTU Publ., 2023, pp. 776–780. (In Russian)
52. Merwin I.A., Valois S., Padilla-Zakour O. Cider apples and cider-making techniques in Europe and North America. In Janick J. (Ed.) *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, Inc. 2008, V. 34, pp. 365–415. DOI: 10.1002/9780470380147.ch6
53. Shirshova A.A., Ageyeva N.M., Ulyanovskaya E.V., Chernutskaya E.A. Transformation of apple composition during cider production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023, V. 53, no. 1, pp. 159–167. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-1-2423 (In Russian)
54. Ivanchenko K.V., Mukhtarov R.Y. Influence of change in phenolic–acid index of apple must on quality indicators of carbonated semisparkling cider. *Sci. Tr. South Branch NUBiP Ukr. "Crimean Agritech. Univ." Ser. Tech Sci*. 2011, no. 138, pp. 113–119. (In Russian)
55. Tripathi S. Health benefits and modern applications of apple cider vinegar: A four-decade review of the scientific literature. *BJMHHS*. 2023, V. 5, no. 8, pp. 1441–1450.
56. Vidot K., Rivard C., Van Vooren G., Siret R., Lahaye M. Metallic ions distribution in texture and phenolic content contrasted cider apples. *Postharvest Biology and Technology*. 2020, V. 160, article 111046. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2019.111046
57. Zuriarrain-Ocio A., Zuriarrain J., Etxebeste O., Dueñas M.T., Berregi I. Evolution of main polyphenolics during cidermaking. *LWT*. 2022, V. 167, article 113798. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113798
58. Zuriarrain-Ocio A., Zuriarrain J., Vidal M., Dueñas M.T., Berregi I. Antioxidant activity and phenolic profiles of ciders from the Basque Country. *Food Biosci.* 2021, V. 41, article 100887. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.100887
59. Ageyeva N.M., Prakh A.V., Shirshova A.A., Avanesyants R.V., Blyagoz A.R. Perfection of production technology and stabilization of fruit wines. *Fruit Grow Vitic South Russ.* 2019, V. 55, no. 1, pp. 131–143. DOI: 10.30679/2219-5335-2019-1-55-131-143 (In Russian)
60. Rosend J., Kaleda A., Kuldjäv R., Arju G., Nisamedtinov I. The effect of apple juice concentration on cider fermentation and properties of the final product. *Foods*. 2020, V. 9, no. 10, article 1401. DOI: 10.3390/foods9101401
61. Gavahian M., Manyatsi T.S., Morata A., Tiwari B.K. Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2022, V. 21, no. 6, pp. 5243–5271. DOI: 10.1111/1541-4337.13043
62. Al Daccache M., Koubaa M., Salameh D., Maroun R.G., Louka N., Vorobiev E. Ultrasound-assisted fermentation for cider production from Lebanese apples. *Ultrason Sonochem.* 2020, V. 63, article 104952. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104952
63. Dzialo M.C., Park R., Steensels J., Lievens B., Verstrepen K.J. Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS Microbiol Rev.* 2017, V. 41, Is. Supp_1, pp. S95–S128. DOI: 10.1093/femsre/ufx031
64. Wu Y., Li Z., Zou S., Dong L., Lin X., Chen Y., Zhang S., Ji Ch., Liang H. Chemical composition and flavor characteristics of cider fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces cerevisiae*. *Foods*. 2023, V. 12, no. 19, article 3565. DOI: 10.3390/foods12193565
65. Ge Q., Guo C., Zhang J., Yan Y., Zhao D., Li C., Sun X., Ma T., Yue T., Yuan Y. Effects of simultaneous co-fermentation of five indigenous non-*Saccharomyces* strains with *S. cerevisiae* on Vidal icewine aroma quality. *Foods*. 2021, V. 10, no. 7, article 1452. DOI: 10.3390/foods10071452
66. Burneria P.-I. Methods of cider production. Technologies for improving product quality. *IOC*. 2021. URL: https://ioc.eu.com/wp-content/uploads/2021/02/CIDER_no3-20_f3.pdf (Accessed 19.11.2024) (In Russian)
67. Jolicoeur C. *Cider Planet: Exploring the Producers, Practices, and Unique Traditions of Craft Cider and Perry from Around the World*. White River Junction (VT): Chelsea Green Publishing, 2022. 336 p.
68. United States Association of Cider Makers. *Cider Association*. 2023. URL: <https://ciderassociation.org/2023-cider-report>. (Accessed 02.05.2025)
69. Global Cider Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2023–2028). *Mordor Intelligence*. 2025. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cider-market>. (Accessed 02.05.2025)
70. Troncozo S. Consumer perception and preference for hard seltzers in Portugal: exploring the factors and trends driving alcohol choice: a systematic review of wine, cider, beer, and hard seltzer. *Master's thesis*. Lisbon: Nova School of Business and Economics, 2023. 77 p.
71. Polushin A.S., Remennaya E.A. Review of perspective directions of production of alcoholic beverages based on apple raw. *Vestnik Molodezhnoi Nauki*. 2016, no. 4, pp. 16–20. (In Russian)
72. Shirshova A.A., Ageyeva N.M., Ulyanovskaya E.V., Khrapov A.A., Chernutskaya E.A. Cider. Topical issues of the industry. *Traditsionnaya i Innovatsionnaya Nauka. Collection of works*. St. Petersburg, MIPI Publ., 2023, pp. 33–41. (In Russian)

73. Shirshova A.A., Ageeva N.M., Ulyanovskaya E.V., Khrapov A.A., Chernutskaya E.A. Nano-, bio- and cognitive technologies in the production of ciders and fruit alcoholic products. *Fruit Grow. Vitic. South Russ.* 2024, V. 88, no. 4, pp. 97–106. DOI: 10.30679/2219-5335-2024-4-88-97-106 (In Russian)
74. Hu L., Chen X., Cao Y., Gao P., Xu T., Xiong D., Zhao Z. *Lactiplantibacillus plantarum* exerts strain-specific effects on malolactic fermentation, antioxidant activity, and aroma profile of apple cider. *Food Chem.: X.* 2024, V. 23, article 101575. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101575
75. Padilla B., Gil J.V., Manzanares P. Past and future of non-*Saccharomyces* yeasts: From spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity. *Front. Microbiol.* 2016, V. 7, article 411. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00411
76. Gschaedler A., Iñiguez-Muñoz L.E., Flores-Flores N.Y., Kirchmayr M., Arellano-Plaza M. Use of non-*Saccharomyces* yeasts in cider fermentation: Importance of the nutrients addition to obtain an efficient fermentation. *Int. J. Food Microbiol.* 2021, V. 347, article 109169. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109169
77. Magalhães F., Krogerus K., Vidgren V., Sandell M., Gibson B. Improved cider fermentation performance and quality with newly generated *Saccharomyces cerevisiae* × *Saccharomyces eubayanus* hybrids. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 2017, V. 44, no. 8, pp. 1203–1213. DOI: 10.1007/s10295-017-1947-7
78. Sadykova A.A. Genetic foundations of selection of fermentative yeasts *Saccharomyces* and *Kluyveromyces*. *Candidate's thesis*. Moscow, 2016. 148 p. (In Russian)
79. Payea M.J., Sloma M.F., Kon Y., Young D.L., Guy M.P., Zhang X., De Zoysa T., Fields S., Mathews D.H., Phizicky E.M. Widespread temperature sensitivity and tRNA decay due to mutations in a yeast tRNA. *RNA.* 2018, V. 24, no. 3, pp. 410–422. DOI: 10.1261/rna.064642.117
80. SafCider™ AB-1: Product description. *Fermentis*. 2025. URL: <https://fermentis.com/en/product/safcider-ab-1/> (Accessed 02.05.2025)
81. Yu W., Zhu Y., Zhu R., Bai J., Qiu J., Wu Y., Zhong K., Gao H. Insight into the characteristics of cider fermented by single and co-culture with *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* based on metabolomic and transcriptomic approaches. *LWT.* 2022, V. 163, article 113538. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113538
82. Novikova A.A. Beer biotechnology using *Brettanomyces* yeast: production features and new aromatic profile: *Candidate's thesis*. Voronezh, 2019. 148 p. (In Russian)
83. Conterno L., Joseph C.L., Arvik T.J., Henick-Kling T., Bisson L.F. Genetic and physiological characterization of *Brettanomyces bruxellensis* strains isolated from wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 2006, V. 57, no. 2, pp. 139–147. DOI: 10.5344/ajev.2006.57.2.139
84. Steensels J., Daenen L., Malcorps P., Derdelinckx G., Verachttert H., Verstrepen K.J. *Brettanomyces* yeasts – from spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *In. J Food Microbiol.* 2015, V. 206, pp. 24–38. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.005
85. Mecca D., Benito S., Beisert B., Brezina S., Fritsch S., Semmler H., Rauhut D. Influence of nutrient supplementation on *Torulaspora delbrueckii* wine fermentation aroma. *Fermentation.* 2020, V. 6, no. 1, article 35. DOI: 10.3390/fermentation6010035
86. Tocci N., Egger M., Hoellrigl P., Sanoll C., Beisert B., Brezina S., Fritsch S., Schnell S., Rauhut D., Conterno L. *Torulaspora delbrueckii* strain behaviour within different refermentation strategies for sparkling cider production. *Appl. Sci.* 2023, V. 13, no. 6, article 4015. DOI: 10.3390/app13064015
87. Zeng C., Mu Y., Yuan J., Zhang H., Song J., Kang S. Effects of *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* co-fermentation on the physicochemical and flavor compounds of Huanian apple cider. *Molecules.* 2024, V. 29, no. 8, article 1750. DOI: 10.3390/molecules29081750
88. Fernandes T., Silva-Sousa F., Pereira F., Rito T., Soares P., Franco-Duarte R., Sousa M.J. Biotechnological importance of *Torulaspora delbrueckii*: From the obscurity to the spotlight. *J Fungi.* 2021, V. 7, no. 9, article 712. DOI: 10.3390/jof7090712
89. Wang Y., Qi X.Y., Fu Y., Zhang Q., Wang X.H., Cui M.Y., Ma Y.Y., Gao X.L. Effects of *Torulaspora delbrueckii* co-fermented with *Saccharomyces cerevisiae* on physicochemical and aromatic profiles of blueberry fermented beverage. *Food Chem.* 2023, V. 409, article 135284. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135284
90. Kristof I., Ledesma S.C., Apud G.R., Vera N.R., Fernández P.A.A. *Oenococcus oeni* allows the increase of antihypertensive and antioxidant activities in apple cider. *Heliyon.* 2023, V. 9, no. 6, article e16806. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16806
91. Li C.X., Zhao X.H., Zuo W.F., Zhang T.L., Zhang Z.Y., Chen X.S. The effects of simultaneous and sequential inoculation of yeast and autochthonous *Oenococcus oeni* on the chemical composition of red-fleshed apple cider. *LWT.* 2020, V. 124, article 109184. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109184
92. Devi A., Anu-Appaiah K.A. Mixed malolactic co-culture (*Lactobacillus plantarum* and *Oenococcus oeni*) with compatible *Saccharomyces* influences the polyphenolic, volatile and sensory profile of Shiraz wine. *LWT.* 2021, V. 135, article 110246. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110246
93. Zhang B., Liu D., Liu H., Shen J., Zhang J., He L., Li J., Zhou P., Guan X., Liu S., Shi K. Impact of indigenous *Oenococcus oeni* and *Lactiplantibacillus plantarum* species co-culture on *Cabernet Sauvignon* wine malolactic

- fermentation: Kinetic parameters, color and aroma. *Food Chem.*: X. 2024, V. 22, article 101369. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101369
94. Sombolostani A.S., Cleenwerck I., Cnockaert M., Borremans W., Wieme A.D., De Vuyst L., Vandamme P. Novel acetic acid bacteria from cider fermentations: *Acetobacter conturbans* sp. nov. and *Acetobacter fallax* sp. nov. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2020, V. 70, no. 12, pp. 6163–6171. DOI: 10.1099/ijsem.0.004511
95. Yassunaka-Hata N.N., Surek M., Sartori D., Serrato R.V., Spinoso W.A. Role of acetic acid bacteria in food and beverages. *Food Technol Biotechnol.* 2023, V. 61, no. 1, pp. 85–103. DOI: 10.17113/ftb.61.01.23.7811
96. Misery B., Legendre P., Rué O., Bouchart V., Guichard H., Laplace J.M., Cretenet M. Diversity and dynamics of bacterial and fungal communities in cider for distillation. *Int. J. Food Microbiol.* 2021, V. 339, article 108987. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108987
97. Nogueira A., Wosiacki G. Apple cider fermentation. In Hui Y.H., Özgül Evranuz E. (Eds.) *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology*. Boca Raton: CRC Press, 2012. Ch. 12.
98. Dorignac E. Exploring diversity of cider profiles through the selection of new yeast strains. *Fermentis*. URL: <https://fermentis.com/en/knowledge-center/expert-insights/cider/exploring-cider-profiles>. (Accessed 11.05.2025)
99. Iskandaryan A.K., Mikayelyan M.N., Gevorgyan E.R. Investigation of the possibility of cider production in Armenia using different dry active yeasts. *AgriSciens and Technology*. 2022, no. 4, pp. 422–427. DOI: 10.52276/25792822-2022.4-422
100. Bedriñana R.P., Picinelli-Lobo A., Madrera R.R., Valles B.S. New ciders made by an exhaustion method: an option to valorise subproducts from the making of ice ciders. *Beverages*. 2021, V. 7, no. 4, article 75. DOI: 10.3390/beverages7040075
101. Bedriñana R.P., Mangas Alonso J.J., Valles B.S. Evaluation of autochthonous *Saccharomyces bayanus* strains under stress conditions for making ice ciders. *LWT – Food Science Technology*. 2017, V. 81, pp. 217–225. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.03.055
102. Kelly J., Yang F., Dowling L., Nurgel C., Beh A., Di Profio F., Pickering G., Inglis D.L. Characterization of *Saccharomyces bayanus* CN1 for fermenting partially dehydrated grapes grown in cool climate winemaking regions. *Fermentation*. 2018, V. 4, no. 3, p. 77. DOI: 10.3390/fermentation4030077
103. Aleksanyan K.A., Tananayko T.M., Tkachuk L.A. Study of secondary products of alcoholic fermentation in fruit wine production. *Imperiya Napitkov*. 2021, no. 2, pp. 8–10. (In Russian)
104. Voytsekhovskiy V.I., Tokar A.E., Rebezov M.B. Cider wine materials quality depending on the variety of apples and yeast race. *Bull. South Ural State Univ., Ser. Food Biotechnol.* 2014, V. 2, no. 2, pp. 42–49. (In Russian)
105. Bakharev V.V., Kiseleva N.A. Effect of adding vitamin supplementation on total antioxidant activity of apple wine. *Winemak. Viticult.* 2012, no. 5, pp. 28–29. (In Russian)
106. Riekstina-Dolge R., Kruma Z., Cinkmanis I., Straumite E., Sabovics M., Tomsone L. Influence of *Oenococcus oeni* and oak chips on the chemical composition and sensory properties of cider. *9th Baltic Conference on Food Science and Technology – Foodbalt. Collection of works*. Jelgava: Drukātava Publ., 2014, pp. 178–183.
107. Kiseleva N.A., Bakharev V.V. Study of the composition of raw alcohol depending on the variety of apples grown in the Samara region. *Innovatsionnye Tekhnologii v Pishchevoi Promyshlennosti. Collection of works*. Samara: SamGTU Publ., 2016, pp. 67–69. (In Russian)
108. Satora P., Cioch M., Tarko T., Wołkowicz J. Killer strains of *Saccharomyces*: application for apple wine production. *J. Inst. Brew.* 2016, V. 122, no. 3, pp. 412–421. DOI: 10.1002/jib.338

Информация об авторах

Анна Дмитриевна Беляева – аспирант кафедры технологии микробиологического синтеза

Василиса Дмитриевна Попова – студент бакалавриата кафедры технологии микробиологического синтеза

Виктория Александровна Ячкова – студент бакалавриата кафедры технологии микробиологического синтеза

Ирина Дмитриевна Беляева – магистрант кафедры технологии микробиологического синтеза

Галина Геннадьевна Няникова – канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры технологии микробиологического синтеза

Information about the authors

Anna D. Beliaeva, Postgraduate Student, Department of Microbiological Synthesis Technology

Vasilisa D. Popova, Undergraduate Student, Department of Microbiological Synthesis Technology

Viktoria A. Iachkova, Undergraduate Student, Department of Microbiological Synthesis Technology

Irina D. Beliaeva, Master's Degree Student, Department of Microbiological Synthesis Technology

Galina G. Nianikova, Ph.D. (Biol.), Ass. Prof., Associate Professor of the Department of Microbiological Synthesis Technology

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 12.05.2025

Одобрена после рецензирования 15.07.2025

Принята к публикации 30.08.2025

The article was submitted 12.05.2025

Approved after reviewing 15.07.2025

Accepted for publication 30.08.2025