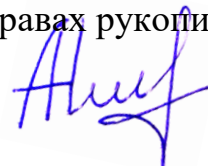


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

На правах рукописи



Неклюдов Антон Андреевич

**РАЗРАБОТКА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ФОРМИРОВАНИЯ
КАЧЕСТВА ПОРТВЕЙНА ИЗ ВИНОГРАДА АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 4.3.5. Биотехнология продуктов питания
и биологически активных веществ

Научный руководитель:
доктор технических наук
Рожнов Евгений Дмитриевич

Екатеринбург – 2026

Оглавление

Введение.....	5
1 Литературный обзор	11
1.1 Современное состояние и перспективы производства портвейна в России и мире	11
1.1.1 Технологические особенности производства портвейна	11
1.1.2 Химический состав и факторы, формирующие органолептический профиль портвейна.....	13
1.1.3 Классификация ароматов портвейна: первичный, вторичный, третичный и аромат дистилляции.....	16
1.2 Продукция виноградарства отдельных регионов для производства портвейна	19
1.3 Биотехнологические приемы управления качеством вин	20
1.3.1 Роль дрожжей-несахаромицетов в формировании вторичного аромата.....	21
1.3.2 Микрооксигенация как метод регулирования окислительных процессов и стабилизации цвета портвейна	23
1.3.3 Влияние природы спиртующего агента на ароматический профиль портвейна.....	24
Заключение по главе 1	26
2 Организация эксперимента, объекты и методы исследования.....	28
2.1 Общая схема исследований	28
2.2 Объекты исследования	30
2.3 Перечень методов аналитического контроля.....	33
3 Исследование факторов, формирующих аромат портвейна из продукции виноградарства Алтайского края	38
3.1 Оценка технологического потенциала продукции виноградарства Алтайского края	38

3.1.1 Физико-химические показатели	38
3.1.2 Ароматический профиль виноматериалов из сортов винограда Алтайского края	44
3.2 Управлением вторичным ароматом при использовании технологии последовательного культивирования	50
3.2.1 Закономерности формирования вторичного ароматического профиля в виноматериалах из виноградного сырья Алтайского края..	50
3.2.2 Исследование влияния последовательного культивирования <i>Metschnikowia pulcherrima</i> и <i>Saccharomyces cerevisiae</i> на формирование вторичного аромата виноматериалов	55
3.3 Оптимизация процесса портвейнизации с применением микрооксигенации для формирования третичного аромата	61
3.3.1 Влияние микрооксигенации на динамику ароматических соединений при портвейнизации	63
3.3.2 Влияние микрооксигенации на динамику антоцианов и цветовые характеристики	70
3.4 Взаимосвязь процесса портвейнизации с индексами химического возраста	77
3.4.1 Разработка прогностической модели для оценки индекса химического возраста в процессе портвейнизации	83
3.4.2 Разработка прогностической модели для оценки сотолонового индекса в процессе портвейнизации	86
3.4.3 Определение весовых коэффициентов комплексного индекса эволюции портвейна.....	89
3.5 Определение оптимальных доз кислорода и температуры для формирования желаемого окисленного профиля.....	93
3.6 Сравнительный анализ влияния спиртующих агентов на качество портвейна	97
Выводы по главе 3	100

4 Разработка и производственная апробация биотехнологии портвейна из продукции виноградарства Алтайского края	102
4.1 Разработка комплексной биотехнологической схемы производства крепленых вин	102
4.1.1 Обоснование выбора сортовой комбинации и параметров технологических режимов	102
4.1.2 Принципиальная биотехнологическая схема производства портвейна.....	104
4.1.3 Разработка панели дескрипторов для органолептической оценки портвейнов из продукции виноградарства Алтайского края.....	107
4.1.4 Регламентируемые показатели качества готовой продукции	114
4.2 Апробация разработанной технологии в условиях микровиноделия	115
4.2.1 Выработка опытных партий портвейна в лабораторных и опытно-промышленных условиях	115
4.2.2 Оценка качества и стабильности готовой продукции.....	116
4.2.3 Сравнительный анализ сенсорного профиля опытного образца и коммерческих аналогов с использованием разработанной панели дескрипторов.....	117
4.3 Технико-экономическая оценка разработанной технологии	122
4.4 Разработка проекта технической документации	124
Заключение по главе 4.....	125
Заключение	127
Список литературы	129
Приложение А Технические условия ТУ 11.01.12.163-001-05151790-2026 «Крепленое вино «Портвейн Алтайский»	149
Приложение Б Технологическая инструкция по производству крепленого вина «Портвейн Алтайский» ТИ 11.01.12.163-001-05151790-2026	150
Приложение В Документы о внедрении результатов исследования.....	151

Введение

Актуальность работы. Современное российское виноделие развивается под влиянием двух взаимосвязанных факторов: устойчивого спроса на крепленые вина, в том числе портвейнов, и постепенного выхода отрасли за пределы традиционных винодельческих зон. Федеральным законом от 27 декабря 2019 г. № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии» производителям винодельческой продукции предоставлены меры поддержки, включая субсидии на развитие производств, поэтому научное обоснование и разработка современных технологий специальных вин, включая портвейны, становится важной прикладной задачей. Указом Президента России от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.» поставлена цель увеличения производства продукции АПК не менее чем на 25 % к 2030 г. В контексте данного документа производство крепленых вин необходимо рассматривать как наукоемкую отрасль с длительными циклами изготовления, поэтому наращивание объемов продукции невозможно без развития технологической базы.

К числу территорий, где виноградарство ведется в нетрадиционных условиях, относится Алтайский край: здесь накоплен многолетний опыт возделывания зимостойких, нередко гибридных сортов винограда. Сырье этих сортов существенно отличается по химическому составу и технологическим свойствам от классических сортов *Vitis vinifera*, в связи с чем прямое использование традиционных технологий оказывается затруднительным и требует их научно обоснованной адаптации.

Однако при анализе доступных источников информации не выявлены методы, позволяющие целенаправленно формировать сложный и гармоничный органолептический профиль портвейна из гибридных сортов винограда. Решение данной задачи связано с применением биотехнологических приемов на всех этапах производства – от селекции ароматообразующей микрофлоры до управления процессами выдержки и выбора спиртующего агента.

Таким образом, разработка научно и экспериментально обоснованных биотехнологических приемов регулирования ароматического и вкусового профиля портвейнов из нетрадиционных сортов винограда является актуальной задачей, имеющей значение для расширения сырьевой базы отрасли и создания конкурентоспособной продукции с выраженным региональным характером.

Степень разработанности темы исследования. Фундаментальные основы химии и технологии портвейнов заложены в работах зарубежных ученых (А. С. Silva Ferreira, V. de Freitas, J. Bakker и др.), посвященных кинетике окислительных процессов, роли антоцианов и формированию типичных тонов выдержки. Вопросы влияния спирта-крепителя (агуарденте) на аромат портвейна освещены в трудах F. S. S. Rogerson и V. A. P. De Freitas. Российские исследования, в частности работы Н. М. Агеевой, Б. В. Бурцева, Т. И. Гугучкиной, сфокусированы на адаптации технологий крепленых вин к отечественному сортименту в традиционных регионах виноградарства. Исследования О. Н. Шелудько, Т. Ф. Киселевой, О. В. Чугуновой, М. Н. Школьниковой, Г. Б. Пищикова посвящены совершенствованию технологий и повышению качества винодельческой продукции, в том числе при использовании нетрадиционного сырья (в том числе плодового) и новых штаммов дрожжей. Однако системные исследования, направленные на комплексное применение биотехнологических приемов (подбор стартовых культур, микрооксигенация, выбор спиртующего агента) для целенаправленного формирования сенсорного профиля портвейнов из нетрадиционных гибридных сортов винограда в условиях новых регионов (таких как Алтайский край), до настоящего времени не проводились, что определяет цель и задачи данной работы.

Цель диссертационного исследования. Целью работы является научное обоснование и разработка биотехнологических приемов формирования качества портвейнов из винограда, выращиваемого в Алтайском крае.

Для реализации указанной цели поставлены следующие **задачи**:

1) оценить технологический потенциал возделываемых в Алтайском крае красных сортов винограда и определить наиболее перспективные для производства портвейнов;

2) исследовать влияние дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и дрожжей-несахаромицетов *Metschnikowia pulcherrima* на формирование вторичного аромата и кинетику брожения при получении виноматериалов для портвейна;

3) изучить закономерности процесса микрооксигенации при портвейнизации и определить его влияние на динамику антоцианов и формирование третичного аромата;

4) разработать и валидировать специализированную панель дескрипторов для объективной оценки портвейнов из виноградного сырья Алтайского края;

5) разработать комплексную биотехнологическую схему производства портвейнов, адаптированную для сортов винограда, выращиваемых в Алтайском крае.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 3, 5 и 23 паспорта специальности ВАК при Минобрнауки России 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки).

1. Научно обосновано использование винограда, выращиваемого в Алтайском крае, как нового сырья для производства портвейна. Впервые установлены параметры процессов спиртового брожения с культурой *Metschnikowia pulcherrima*, крепления винным дистиллятом и последующей портвейнизации, адаптированные к специфике данного сырья (п. 5 Паспорта специальности 4.3.5).

2. Научно обоснованы и определены закономерности формирования вторичного аромата виноматериалов из возделываемых в Алтайском крае красных сортов винограда посредством последовательного культивирования дрожжами: экспозиция *Metschnikowia pulcherrima* в течение 72–96 ч с последующей инокуляцией *Saccharomyces cerevisiae*. В результате увеличивается концентрация ключевых сложных эфиров (изоамилацетата на 24–31 %, этилгексаноата на 20–21 %) и свободных терпенов (в 1,6 раза), что формирует выраженный фруктово-цветочный профиль и гармоничность виноматериалов (п. 3 Паспорта специальности 4.3.5).

3. Впервые изучены механизмы биотрансформации фенольного комплекса и формирования третичного аромата портвейнов в условиях контролируемой микрооксигенации при портвейнизации: установлена кинетика деградации антоцианов винограда Фиолетовый ранний, описываемая реакцией первого порядка, и расчи-

таны энергии активации процесса (31,3–36,3 кДж/моль) для различных режимов портвейнизации; разработаны адекватные прогностические модели, описывающие динамику индекса химического возраста и сотолонового индекса как функции температуры и времени, что позволяет прогнозировать характер изменений готового продукта (п. 23 Паспорта специальности 4.3.5).

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость заключается в научном обосновании закономерностей формирования органолептического профиля крепленых вин в зависимости от условий культивирования сырья и параметров биотехнологических процессов. Полученные кинетические модели деградации антоцианов и данные о вкладе дрожжей-несахаромицетов в аромат вносят вклад в развитие научных основ пищевой биотехнологии и биохимии дрожжей.

Практическая значимость. Сформирована технология производства портвейна из винограда Алтайского края, апробированная в условиях действующего предприятия (ООО «ЦПС»). Обоснован выбор сырья и подобраны режимы применения стартовой культуры *M. pulcherrima* в сочетании с *S. cerevisiae*, обеспечивающие обогащение вторичного аромата молодых виноматериалов. Разработаны режимы выдержки с микрооксигенацией для интенсификации стабилизации цвета и формирования третичного аромата. Создана и валидирована панель дескрипторов, позволяющая вести объективную органолептическую оценку портвейнов в производственном дегустационном анализе. Разработан пакет нормативно-технической документации: ТУ 11.01.12.163-001-05151790-2026 «Крепленое вино «Портвейн Алтайский». Технические условия», ТИ 11.01.12.163-001-05151790-2026 «Технологическая инструкция по производству крепленого вина «Портвейн Алтайский».

Результаты исследования используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 19.03.01 и 19.04.01 «Биотехнология»; могут быть востребованы предприятиями регионов с аналогичными климатическими условиями.

Методология и методы исследования. На основе обобщения имеющихся результатов теоретических и экспериментальных исследований в качестве методологической основы принят системный подход, рассматривающий сенсорный профиль портвейна как последовательное накопление четырех составляющих – первичного, вторичного, третичного аромата и вклада спиртующего агента. Исследования проводились в период 2022–2026 гг. в лабораториях Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» и Уральского государственного экономического университета.

Инструментарием исследования послужили общепринятые, стандартные и специальные методы исследования сырья, полуфабрикатов и готовой продукции с последующей статистической обработкой результатов. Фенольные вещества определяли спектрофотометрически с реактивом Фолина – Чокальтеу; антоцианы – рН-дифференциальным методом; оптические характеристики – по стандартным методикам. Состав летучих соединений изучали методом газовой хроматографии. Микробиологический контроль включал прямой счет клеток в камере Горяева и выращивание на селективных средах. Органолептическую оценку выполняли с применением разработанной панели дескрипторов.

При написании текста диссертационной работы, разработке и формализации всех положений и выводов ее сущностно-смыслового ядра (актуальность, степень разработанности, объект, предмет и цель исследования, его теоретическая и практическая значимость, научная новизна, положения, выносимые на защиту и др.), сборе и обработке данных не использовались технологии генеративного искусственного интеллекта (ИИ), большие языковые модели или иные инструменты ИИ.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты кластерного анализа и ранжирования красных сортов винограда Алтайского края по их технологической пригодности для производства портвейна;
- закономерности влияния стартовой культуры *Metschnikowia pulcherrima* на формирование вторичного аромата виноматериалов;

– кинетические параметры деградации антоцианов и режимы микрооксигенации, обеспечивающие формирование стабильного цвета и третичного аромата при портвейнизации;

– специализированная панель дескрипторов для органолептического профилирования портвейнов из винограда Алтайского края, основанная на принципе сенсорно-химической корреляции;

– комплексная биотехнологическая схема производства портвейна, адаптированная для виноградного сырья Алтайского края.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных результатов обеспечивалась воспроизводимостью экспериментов, использованием аттестованных и стандартных методик анализа и статистической обработкой данных при уровне значимости $p \leq 0,05$, а также согласованностью полученных результатов с фундаментальными положениями химии крепленых вин и данными современных научных источников.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на международных и всероссийских научно-практических конференциях (Екатеринбург, 2023; Тюмень, 2024, 2025; Краснодар, 2026).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Подана заявка на регистрацию программы ЭВМ.

Личный вклад автора состоит в постановке и обосновании проблемы, разработке структуры и схемы проведения исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов, обобщении имеющихся материалов и подготовке их к публикации, организации внедрения результатов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Основное содержание изложено на 148 страницах, включает 48 таблиц, 24 рисунка и 154 литературных источника, из них 104 на иностранных языках.

1 Литературный обзор

1.1 Современное состояние и перспективы производства портвейна в России и мире

1.1.1 Технологические особенности производства портвейна

Федеральный закон от 27 декабря 2019 г. № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» дает определение портвейна как «крепленого вина, органолептические характеристики которого достигаются путем длительной выдержки в дубовой таре или тепловой обработки в резервуарах в условиях регулируемого кислородного режима».

В структуре мирового рынка крепленых вин доля портвейнов достигает почти 35 %; отечественный сегмент портвейнов находится в положительной динамике – по данным Роскачества, в 2024 г. выпуск вин данной категории увеличился вдвое, что показывает активный рост интереса потребителей [34].

Классическая технология портвейна представляет собой сложный многостадийный процесс, включающий возделывание и сбор винограда, переработку, сбраживание сусла и мезги, спиртование, выдержку в контролируемых условиях (портвейнизацию) и розлив. В работе [125] отмечается, что для понимания всех биохимических процессов, протекающих при производстве портвейна, необходимо глубоко рассматривать трансформацию ароматических соединений.

Главной особенностью, отличающей технологию от других типов вин, является прерывание брожения путем добавления спиртующего агента, что позволяет сохранить в вине большую часть природных сахаров и сформировать характерный сладкий вкусовой профиль портвейна [56; 141]. Само по себе момент спиртования

также является ответственным этапом производства, поскольку раннее внесение спирта способствует получению портвейнов с развитым свежим фруктовым профилем; внесение спиртующего агента на поздних стадиях позволяет получить вина, пригодные для длительной выдержки [5; 16; 15; 125]. Российские исследователи [11] подчеркивают, что природа спиртующего агента – один из ключевых факторов, формирующих качество портвейна, поскольку использование винных дистиллятов позволяет формировать гармоничные и сложные букеты, обогащая портвейны дополнительными конгенерами.

Стадия выдержки (портвейнизации) в технологии портвейнов является обязательной для формирования третичных ароматов и стиля будущего вина. Классическая технология предусматривает выдержку портвейнов в дубовых бочках для обеспечения протекания процессов экстракции и трансформации компонентов древесины (лактоны, фенольные альдегиды), сопряженных с их окислением благодаря естественному проникновению кислорода из атмосферы в бочку. Кислород также участвует в реакциях стабилизации цвета вина и формирования окисленного вкусоароматического профиля [24; 89]. Недостатком классического подхода является большая потребность в оборотных бочках и невозможность обеспечить дозированный доступ кислорода в вино. В современных условиях все чаще находят применение резервуарные методы выдержки с применением контролируемой микрооксигенации и дозированием дубовой щепы – это позволяет интенсифицировать выдержку и сделать ее более управляемой и предсказуемой [19; 21; 90].

Контролируемая микрооксигенация за счет введения установленных доз кислорода на различных этапах производства позволяет стабилизировать цвет будущего портвейна, снизить терпкость и развить ароматические тона [72; 126]. В исследовании [107] показано, что изменения в цвете портвейне происходят по пути образования более стабильных полимерных структур – пираноантоцианов и продуктов конденсации антоцианов с флаван-3-олами (таннинами) через ацетальдегидный мостик, что приводит к смещению цвета от ярко-рубинового к гранатовому и кирпичному, что является характерным признаком выдержанных портвейнов [74]. Температура и дозировка кислорода напрямую оказывают влияние на кине-

тику образования маркеров выдержки портвейна – сотолон (3-гидрокси-4,5-диметил-2(5H)-фуранона) и фурановых альдегидов [119]. В исследовании [106] представлены кинетические подходы к управлению процессом окисления портвейна, что позволяет прогнозировать свойства готового вина в зависимости от условий хранения и выдержки. Сотолон следует рассматривать в качестве одного из основных ароматических соединений, определяющих аромат выдержанных портвейнов, при этом его конечное содержание зависит от условий выдержки [138].

Анализ литературных источников показывает, что современная промышленная технология портвейна базируется на научно обоснованных контролируемых процессах, что открывает возможность ее адаптации к новым видам сырья и условиям производства в невинodelьческих регионах, таких как Алтайский край, где возделываются зимостойкие сорта винограда [7; 8; 9; 33; 40; 44; 46; 47; 48].

1.1.2 Химический состав и факторы, формирующие органолептический профиль портвейна

Портвейны характеризуются сложнейшим многокомпонентным органолептическим профилем [6; 22; 23], формирование которого является результатом воздействия ряда химических соединений, относящихся к различным классам (рисунок 1). Понимание химической основы сенсорного восприятия необходимо для целенаправленного управления качеством готового продукта [10], особенно при работе с нестандартными и гибридными сортами винограда.

Фенольные соединения играют определяющую роль в формировании цвета и вкуса красных портвейнов. Основными пигментами молодых вин являются мономерные антоцианы (преимущественно мальвидин-3-глюкозид и его производные), придающие вину яркие рубиново-красные тона [27; 28; 29; 92; 107]. Однако в процессе выдержки, особенно в присутствии кислорода, антоцианы подвергаются

сложным трансформациям. Так, в работах [120; 121] идентифицированы новые пигменты – портизины, образующиеся при взаимодействии антоцианов с гидроксикоричными кислотами [114].

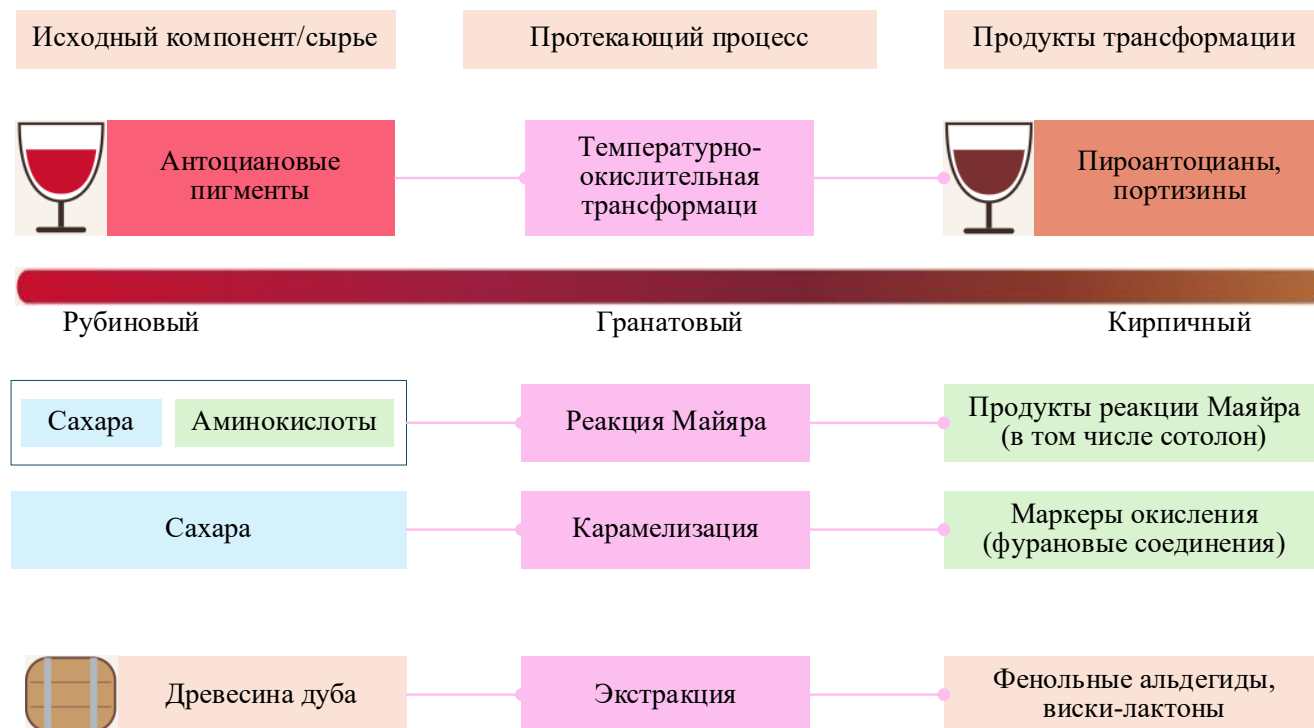


Рисунок 1 – Основные химические процессы, протекающие при выдержке портвейна

В обзоре [50] ароматообразующие вещества крепленых вин систематизированы по химическим классам. Важнейшую роль в формировании фруктовых тонов молодых портвейнов играют сложные эфиры, прежде всего этиловые эфиры жирных кислот (этилгексаноат, этилоктаноат, этилдеcanoат), обладающие низкими порогами восприятия и придающие вину тона яблока, груши, ананаса [50; 134]. В работе [134] показано, что в портвейне до 90–99 % данных эфиров поступает не из процесса брожения, а непосредственно из спиртующего агента, что свидетельствует о его существенной роли в формировании фруктового профиля молодого вина. Терпеноиды (линалоол, гераниол, цитронеллол и др.) обуславливают цветочные и цитрусовые тона. Их содержание в портвейне зависит как от сортовых особенностей винограда (первичный аромат), так и от состава используемого спиртующего агента [50; 133]. C_6 – C_{10} альдегиды и спирты (гексанол, гексенол) форми-

руют травянистые, зеленые оттенки, которые могут быть как желательными в умеренных количествах, так и свидетельствовать о недостаточной зрелости сырья [50].

Особое значение для портвейнов, прошедших стадию окислительной выдержки, имеют соединения, формирующие так называемый третичный аромат. Со-толон может служить объективным показателем возраста портвейна [85; 138]. Механизм его образования связан с реакцией Майяра между сахарами и аминокислотами, а также с метаболизмом дрожжей [94; 129].

Фурановые альдегиды – фурфурол, 5-метилфурфурол, 5-гидроксиметилфурфурол (ГМФ) – образуются в результате термической деградации сахаров (карамелизации) и реакции Майяра. Их содержание коррелирует с интенсивностью термической обработки и служит индикатором «окисленного возраста» вина [70; 81]. С. М. Oliveira с соавторами [119] предложили использовать количественное определение 3-дезоксиглюкозона в качестве маркера старения портвейнов, установив четкую корреляцию между его выходом и снижением содержания сахаров и аминокислот.

Лактоны, в частности виски-лактоны (β -метил- γ -окталактон), экстрагируются из древесины дуба и придают вину тона кокоса, древесины, ванили [50]. Ацетали (например, 1,1-диэтоксигетан) образуются в реакциях между спиртами и альдегидами, внося вклад в формирование фруктовых и ореховых оттенков [139].

Вкусовые и осязательные характеристики портвейна определяются соотношением сахаров (глюкоза, фруктоза), обеспечивающих сладость, органических кислот (винная, яблочная, молочная), формирующих кислотный баланс, и полифенолов, ответственных за терпкость и горечь. Терпкость, или вяжущий эффект, обусловлена взаимодействием проантоцианидинов (конденсированных танинов) с гликопротеинами слюны, что приводит к ощущению сухости и стягивания слизистой [75; 91]. J. C. Boulet с соавторами [60] установили корреляцию между концентрацией фенольных веществ и интенсивностью терпкости, что позволяет объективизировать эту субъективную характеристику.

Важно отметить, что органолептический профиль портвейна не является статичным (рисунок 2).



Рисунок 2 – Эволюция сенсорного профиля портвейна в процессе производства и выдержки

Исследования [101; 102] показали, что в процессе бутылочного хранения продолжают биохимические изменения состава под действием микроколичеств кислорода, проникающего через пробку. Это приводит к дальнейшей трансформации фенольных соединений и изменению сенсорного профиля [52; 54]. Таким образом, химический состав портвейна на всех этапах жизненного цикла представляет собой переменную систему, в которой взаимодействие множества факторов и определяет органолептический профиль готового напитка, что особенно важно при адаптации классических технологий к новым видам сырья [42; 45; 49].

1.1.3 Классификация ароматов портвейна: первичный, вторичный, третичный и аромат дистилляции

Аромат портвейна формируется на всех этапах производственного процесса, поэтому важно разработать подход, позволяющий системно его описать. В современной химии вина букет напитка рассматривают как результат взаимодействия

множества ароматических соединений, различающихся по своему происхождению. Для портвейнов характеристика аромата особенно важна, поскольку отдельные этапы технологии (в частности, спиртование) оказывают существенное значение на конечные свойства продукта [50; 133]. Можно выделить четыре основных класса аромата портвейна (рисунок 3) [50; 125; 128; 150].



Рисунок 3 – Классификация ароматов портвейна в соответствии с логикой технологического процесса

Первичный (сортовой) аромат формируется в ягоде в процессе ее созревания. Состав и концентрация ароматических веществ винограда определяются генотипом и терруаром [50]. К соединениям, ответственным за сортовой аромат винограда, относят тиолы (тона тропических фруктов, грейпфрута, черной смородины), терпеноиды (цветочные и пряные ноты), метоксипиразины (зеленые, овощные оттенки) и т. д. [50; 104]. Идентификация и количественная оценка сортовых маркеров служат основой для установления подлинности и сортовой принадлежности [68]. Изучение первичного аромата новых сортов винограда позволяет понимать технологический потенциал сырья и прогнозировать стиль будущего вина [31; 38; 84].

Вторичный (ферментативный, аромат брожения) аромат формируется за счет метаболизма дрожжей – происходит накопление высших спиртов и сложных эфи-

ров [50; 145]. Высшие спирты (изоамиловый, изобутиловый, 2-фенилэтанол) в определенных концентрациях формируют сложность букета, но превышение пороговых концентраций приводит к появлению грубых, сивушных тонов [11]. Сложные эфиры отвечают за формирование фруктовых и цветочных тонов молодых вин [50]. Исследования [59; 124] показали, что состав микрофлоры бродящего сусла существенно образом влияет на вторичный аромат вина. Так, несахаромицеты *Metschnikowia pulcherrima* увеличивают концентрации тиолов и сложных эфиров [63; 147]. Аналогичные исследования проводятся и в Российской Федерации [1; 4; 25; 26; 30; 41].

Третичный аромат (аромат выдержки) формируется в процессе выдержки вина. В отличие от столовых вин, для портвейнов обязательна выдержка с доступом кислорода [80; 106; 149]. В процессе выдержки портвейнов окисляются и полимеризуются фенольные вещества, накапливаются продукты реакции Майяра, образуются ацетали [50; 81; 97]. Именно эти соединения формируют характерные для выдержанных портвейнов тона сухофруктов, орехов, карамели, шоколада, кожи и табака [140]. В работах [65] и [118] разработаны кинетические модели, позволяющие прогнозировать накопление этих маркеров в зависимости от температурно-временных режимов и количества кислорода, что создает основу для управления процессом портвейнизации.

Аромат дистилляции – уникальный и обязательный компонент букета любого портвейна. В исследованиях [50; 133; 134] показано, что спиртующий агент является не только консервантом и источником этанола, но и как источник ароматических веществ. Состав конгенов спиртующего агента зависит от исходного сырья, технологии получения, степени очистки и т. д. [73; 133; 136].

Предложенная классификация позволяет установить взаимосвязь между химическими свойствами и органолептической оценкой.

1.2 Продукция виноградарства отдельных регионов для производства портвейна

Распространение отечественного виноделия за пределы традиционных зон – прежде всего, в регионы Западной Сибири, Волгоградскую и Саратовскую области – ставит перед отраслью новые технологические задачи [36]. Возделывание классических сортов *Vitis vinifera* в условиях резко континентального климата экономически нецелесообразно [35], и практика вынуждена обращаться к зимостойким гибридным формам. Изученность технологического потенциала таких сортов пока невелика: вопросы агротехники и селекции освещены достаточно широко, тогда как биохимические превращения составляющих сырья в процессе переработки практически не становились предметом специальных исследований. Отсутствие таких данных существенно осложняет обоснование технологических режимов переработки зимостойких сортов.

Для зимостойких сортов характерно сочетание высокой титруемой кислотности с относительно низким сахаронакоплением [39]. Подобное соотношение показателей, обусловленное недостатком тепла и солнечной радиации в период вегетации, в полной мере проявляется и в сырье, возделываемом в Алтайском крае. Особую сложность для технолога представляет наличие в сырье межвидовых гибридов специфических ароматических соединений – прежде всего метилантранилата, придающего винам «лисий» (земляничный) тон [104]; при длительной выдержке подобные тона могут перекрывать сортовой аромат, что требует специальных технологических решений. В связи с этим переработка зимостойких сортов неизбежно связывается с подбором оптимальных биотехнологических приемов – регулированием режимов мацерации, применением ферментных препаратов, проведением яблочно-молочного брожения, направленных на снижение кислотности и повышение экстрактивности [12].

Практика производства крепленых вин за пределами региона Дору показывает, что адаптация технологии к местному сырью – общая закономерность, а не

исключение [115; 141]. В Южной Африке крепленые вина (Cape Port) получают из сортов Cinsaut, Pinotage и Tinta Barossa; почвенно-климатические условия определяют здесь биохимию ягоды, что требует корректировки режимов производства портвейна. В Австралии и Калифорнии, где перерабатывают Shiraz, Carignan и Grenache, технология приспособлена к условиям засушливого климата. Освоение в Англии переработки Pinot Noir и Vascus [35], по-видимому, связано с изменением климатических условий, сдвигающих границы виноделия.

Таким образом, получение высококачественных крепленых вин вне региона Дору – задача, решенная в ряде стран практикой, однако в каждом случае она потребовала адаптации технологических процессов к биохимическому потенциалу местного сырья.

1.3 Биотехнологические приемы управления качеством вин

Современная биотехнология вина располагает средствами, позволяющими целенаправленно влиять на органолептический профиль готового продукта. Для решения задач, поставленных в настоящей работе, большое значение имеют три группы приемов, соответствующих трем уровням классификации аромата (вторичному, третичному и вкладу спиртующего агента): управление вторичным ароматом путем селекции дрожжевых популяций, регулирование третичного аромата путем контролируемой оксигенации и целенаправленное формирование аромата дистилляции путем выбора природы спиртующего агента.

1.3.1 Роль дрожжей-несахаромицетов в формировании вторичного аромата

Исторически в виноделии доминировала практика использования чистых культур *Saccharomyces cerevisiae*, обеспечивающих предсказуемое и быстрое протекание брожения. Вместе с тем накопленные к настоящему времени данные свидетельствуют о том, что видовое разнообразие дрожжевой микрофлоры винограда и сусла вносит существенный, а нередко и ведущий вклад в формирование сложности ароматического профиля вина [43; 87; 145].

Роль дрожжей-несахаромицетов в современной биотехнологии вина переосмысливается: из потенциальных возбудителей порчи сусла они превращаются в ценные биотехнологические средства. Как отмечают В. Padilla и др. [124], эти микроорганизмы обладают уникальным ферментативным аппаратом, позволяющим продуцировать широкий спектр вторичных метаболитов, недоступных для *S. cerevisiae*. К их числу относятся гидролазы, β -глюкозидазы, эстеразы и лиазы, способные высвобождать ароматические соединения из связанных, нелетучих предшественников, присутствующих в винограде [59].

Среди множества видов дрожжей-несахаромицетов особый интерес для производства красных вин и потенциально портвейнов представляет *Metschnikowia pulcherrima*. Данный вид характеризуется несколькими ценными технологическими свойствами:

- во-первых, он обладает выраженной β -глюкозидазной активностью, что, как показано в ряде исследований [59; 63], может способствовать высвобождению связанных монотерпенов;
- во-вторых, *M. pulcherrima* способны продуцировать значительные количества тиолов [116; 137] – соединений, ответственных за тона тропических фруктов, что особенно ценно для сортов с умеренным сортовым ароматом;
- в-третьих, исследования L. Canónico с соавторами [63] показали, что данный вид может вызывать железное голодание клеток, подавляя развитие нежела-

тельной микрофлоры за счет продукции пульхерриминовой кислоты и ее высокого сродства к ионам железа Fe^{3+} [51; 122; 131].

В работах L. Lopez-Enriquez с коллегами [103] и X. Ge с соавторами [88] было продемонстрировано, что последовательное или совместное культивирование *M. pulcherrima* и *S. cerevisiae* позволяет значительно повысить концентрацию сложных эфиров и высших спиртов, отвечающих за фруктовый букет, по сравнению с монокультурой *S. cerevisiae*. Важно подчеркнуть, что эффект зависит от множества факторов: штаммовых особенностей, времени инокуляции, температурного режима, состава суслу [58; 135].

Российские исследователи также активно изучают потенциал дрожжей-несахаромицетов. В работах Д. О. Михайленко с соавторами [30] и И. В. Песковой [32] подчеркивается перспективность использования автохтонных штаммов для производства вин с выраженной региональной идентичностью. В ФГБНУ ВНИИВиВ «Магарач» РАН проведена селекция штаммов из ампелоценозов Крыма и их апробация [25; 41]; по данным авторов, использование местных штаммов позволяет не только обогатить аромат вина, но и подчеркнуть региональную специфику продукции, что для винодельческого предприятия имеет самостоятельную ценность. Применение *Metschnikowia pulcherrima* в технологии виноматериалов для портвейна представляется перспективным биотехнологическим приемом – для нетрадиционных гибридных сортов, сортовой аромат которых нередко нуждается в усилении, использование *M. pulcherrima* позволит, по-видимому, компенсировать ограниченную выраженность сортового аромата и обогатить вторичный аромат фруктово-цветочными тонами.

1.3.2 Микрооксигенация как метод регулирования окислительных процессов и стабилизации цвета портвейна

Неконтролируемый доступ кислорода приводит к накоплению ацетальдегида, побурению цвета и появлению тонов окисленности, воспринимаемых как дефект. В то же время дозированное поступление кислорода в критические моменты технологического цикла, напротив, инициирует ряд реакций, ведущих к стабилизации цвета, смягчению терпкости и развитию сложного третичного аромата [80; 149]. Микрооксигенация представляет собой технологический прием, заключающийся во введении в вино небольших, точно контролируемых количеств кислорода (обычно от 2 до 10 мг O_2 /дм³ в месяц) с целью ускорения и регуляции процессов его эволюции. Как отмечено в [89], основными целями микрооксигенации являются:

- стабилизация цвета: кислород инициирует реакции конденсации между антоцианами и флаван-3-олами (таннинами) через образование ацетальдегидных мостиков; образующиеся при этом полимерные пигменты устойчивы к действию диоксида серы и изменениям pH, что обеспечивает сохранность цвета в процессе выдержки [92; 95; 100; 130];

- смягчение танинов: окислительная полимеризация приводит к увеличению молекулярной массы и, как следствие, к снижению способности танинов связывать белки слюны, что субъективно воспринимается как уменьшение терпкости [71; 91; 142];

- формирование третичного аромата: умеренное окисление способствует образованию ряда ароматических соединений, включая ацетальдегид, который не только участвует в реакциях конденсации, но и сам является важным ароматическим компонентом; кроме того, микрооксигенация влияет на накопление фурановых альдегидов и лактонов в процессе выдержки [82; 126].

Применение микрооксигенации как на стадии брожения, так и после нее существенно влияет на фенольный и летучий состав, а также на окислительную ста-

бильность готового вина. Основным фактором, по данным авторов [127], является точный подбор дозы кислорода в зависимости от типа вина и его состава.

Вклад в понимание влияния окислительных условий на эволюцию антоцианов внесла работа М. De Rosso с соавторами [76], выполненная на винах из устойчивых к болезням сортов винограда. Полученные данные свидетельствуют о том, что наличие диглюкозидов, характерных для некоторых гибридных сортов, может влиять на кинетику окислительных процессов и пути трансформации пигментов, что необходимо учитывать при разработке режимов микрооксигенации для вин из нетрадиционного сырья.

В работах [2; 3] на примере сорта Каберне Совиньон показано, что микрооксигенация суслу и мезги позволяет регулировать фенольный состав и склонность виноматериалов к окислению; хотя данные исследования выполнены на классическом сорте, их методологический подход, по-видимому, применим и к нетрадиционному сырью.

Микрооксигенация – эффективное средство управления качеством красных вин, включая портвейны. Вместе с тем для сортов с нетрадиционным фенольным профилем (высокое содержание диглюкозидов, специфический состав танинов) оптимальные режимы микрооксигенации требуют экспериментального обоснования; решение данной задачи составляет одно из направлений настоящей работы.

1.3.3 Влияние природы спиртующего агента на ароматический профиль портвейна

Стадия крепления отличает технологию портвейна от производства иных вин. Природа спиртующего агента при этом оказывает существенное влияние на конечный продукт – настолько, что вклад спиртующего агента целесообразно рассматривать как самостоятельный уровень классификации аромата [50; 133]. Тради-

ционно в производстве портвейна используется виноградный спирт, получаемый дистилляцией виноградных вин в медных аламбиках (перегонных кубах). Помимо этанола такой спирт содержит широкий спектр летучих компонентов (конгенов) – высших спиртов, эфиров, альдегидов, терпенов, которые при внесении переходят в вино и участвуют в формировании его ароматического профиля [73; 133].

Российская практика производства крепленых вин долгое время опиралась на использование ректификованного этилового спирта, получаемого из пищевого сырья. Ректификация позволяет получить продукт высокой степени очистки, практически лишенный каких-либо ароматических примесей. Это безусловное преимущество с точки зрения чистоты и безопасности, однако, как показывают исследования Б. В. Бурцева и Т. И. Гугучкиной [11], такой спирт не вносит позитивного вклада в развитие аромата вина, выступая, нейтральным компонентом.

Фундаментальные исследования F. S. S. Rogerson и V. A. P. De Freitas [134] убедительно доказали, что вклад спиртующего агента в аромат портвейна может быть доминирующим. Авторы количественно оценили происхождение ключевых ароматических соединений и установили, что:

- этиловые эфиры жирных кислот (C_6-C_{12}) на 90–99 % поступают в вино из спирта;
- бензальдегид (тон горького миндаля) на 87–94 % имеет дистилляционное происхождение;
- фенилуксусная кислота и этилгидроциннамат практически полностью (до 100 %) привносятся с крепителем.

Эти данные кардинально меняют представление о роли спиртующего агента – он превращается в активный инструмент, позволяющий влиять на стиль и качество будущего портвейна.

В более поздних обзорах [50; 133] подчеркивается, что состав конгенов спирта зависит от множества факторов, в том числе сырья (сорта винограда, из которого произведен спирт), технологии дистиляции (тип аппарата, режимы отбора фракций) и выдержки спирта (использование молодых или выдержанных дистилятов).

Следовательно, выбор спиртующего агента открывает перед технологом широкие возможности для целенаправленного конструирования ароматического профиля. При работе с нетрадиционными сортами винограда, сортовой аромат которых может быть недостаточно интенсивным или иметь нежелательные тона, использование качественного винного дистиллята может стать эффективным способом обогащения букета и маскировки нежелательных оттенков.

Каждый из рассмотренных приемов (селекция дрожжевых популяций, микрооксигенация, выбор спиртующего агента) способен самостоятельно влиять на качество вина. Их комплексное применение, основанное на учете сортовых особенностей сырья и закономерностей биохимических превращений, позволяет создать продукт с прогнозируемыми и оригинальными органолептическими характеристиками.

Заключение по главе 1

Проведенный аналитический обзор позволяет сформулировать положения, определяющие актуальность и направленность настоящей работы.

Во-первых, география производства портвейнов расширяется, и к числу территорий, где виноградарство ведется в нетрадиционных условиях, в России относится Алтайский край. Виноделие здесь опирается на многолетний опыт возделывания зимостойких сортов, выведенных селекцией специально для резко континентального климата.

Во-вторых, сорта, пригодные для таких условий, – преимущественно гибридные и межвидовые формы: сахаристость алтайского сырья составляет 128–191 г/дм³ против 248–267 г/дм³ у эталонных сортов. Потенциал сырья не раскрывается, а характеристики готового вина плохо поддаются прогнозу.

В-третьих, современная биотехнология вина располагает средствами направленного регулирования профиля на отдельных этапах технологического цикла. В частности, дрожжи-несахаромицеты, например *Metschnikowia pulcherrima*, способны обогащать вторичный аромат за счет специфического ферментативного аппарата; контролируемая микрооксигенация на стадии выдержки обеспечивает стабилизацию цвета и развитие третичного аромата; наконец, выбор природы спиртующего агента – ректификованного этилового спирта или винного дистиллята – определяет его вклад в сенсорный профиль. Каждый из этих приемов по отдельности описан в литературе, однако применялся, как правило, разрозненно.

В-четвертых, применительно к производству портвейнов из нетрадиционных сортов винограда, возделываемых в новых винодельческих регионах России, системных исследований комплексного использования указанных приемов не проводилось. Научно обоснованные рекомендации по выбору стартовых культур, режимов микрооксигенации и типов спиртующих агентов, адаптированных к специфике сырья с высокой вариабельностью технологических характеристик, в доступной литературе отсутствуют.

Таким образом, разработка биотехнологических приемов целенаправленного регулирования органолептического профиля портвейнов – на основе комплексного управления формированием первичного, вторичного и третичного аромата и вкладом спиртующего агента – применительно к продукции виноградарства Алтайского края является актуальной научно-практической задачей, имеющей значение для расширения сырьевой базы отрасли и повышения конкурентоспособности отечественной винодельческой продукции.

На основании изложенного сформулированы цель и задачи настоящей работы.

2 Организация эксперимента, объекты и методы исследования

2.1 Общая схема исследований

Теоретические, практические и экспериментальные исследования диссертационной работы выполнялись в период с 2022 по 2026 г. в соответствии с общей схемой проведения исследований.

Основной объем исследований выполнен автором самостоятельно в специализированных лабораториях кафедры биотехнологии Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (лаборатории «Химия процессов брожения», «Микробиология процессов брожения», «Химия и технология переработки растительного сырья») и лабораториях кафедры биотехнологии и инжиниринга ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

Структурно-логическая схема исследований приведена на рисунке 4. Она задает последовательность этапов работы, взаимосвязь отдельных опытов и потоки анализируемых данных: каждый этап опирается на результаты предыдущего, и в целом схема воспроизводит путь от исходного сырья к готовому продукту. Завершающим этапом выступают разработка комплексной биотехнологической схемы, ее апробация в условиях действующего предприятия и технико-экономическая оценка.

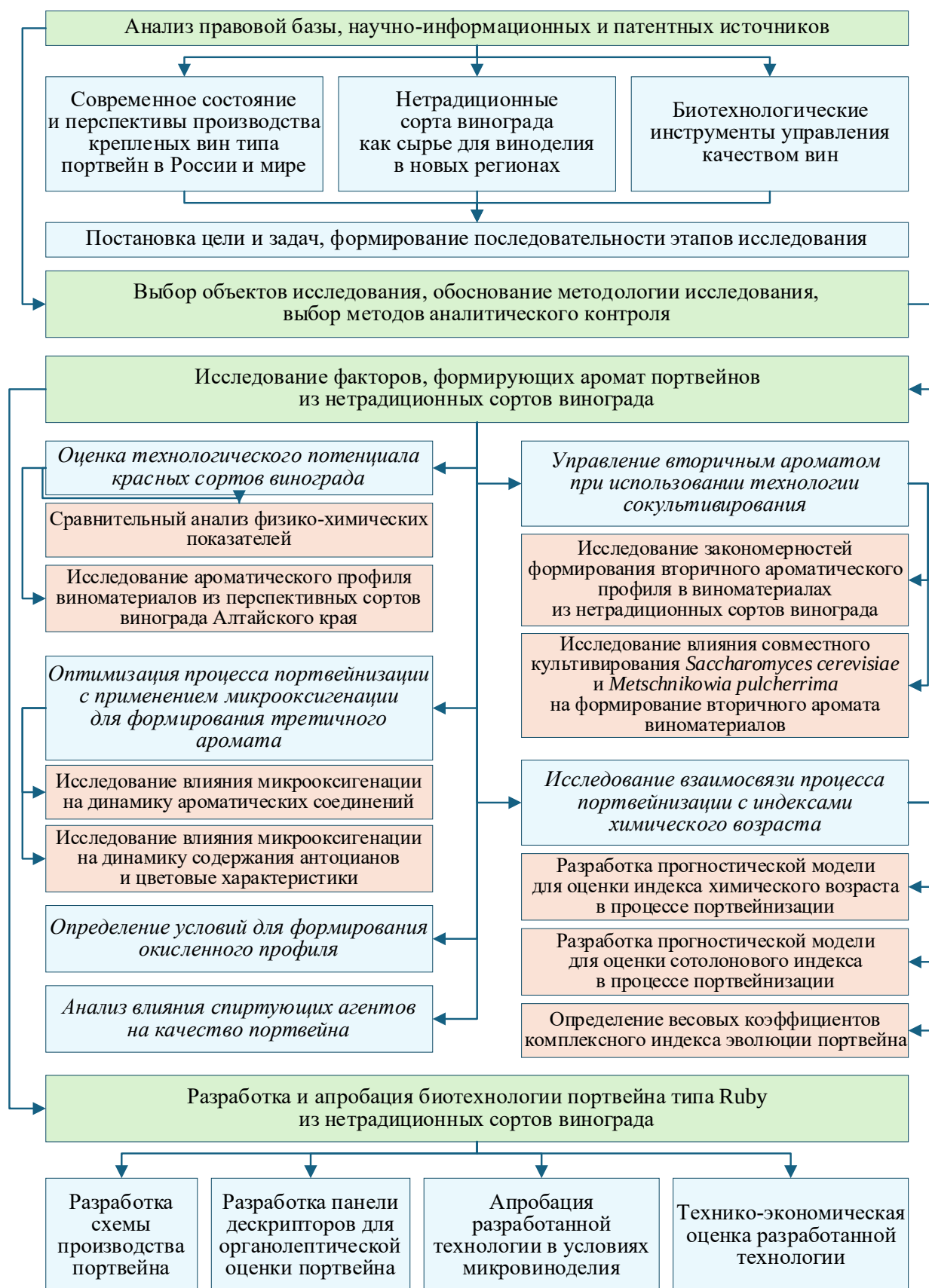


Рисунок 4 – Общая схема исследования

2.2 Объекты исследования

На различных этапах выполнения диссертационной работы в качестве объектов исследования использовали:

1) виноград красных технических сортов: Зилга, Таежный, Мускат Донской, Фиолетовый ранний, Загадка Шарова, Дорнфельдер, Шварц Рислинг, Каберне Северный, Памяти Домбковской. Образцы винограда урожаев 2022–2024 гг. были выращены и собраны в Алтайском крае на опытном участке Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова (с. Сростки, Алтайский край, 52°25'00" с. ш.; 85°41'55" в. д., правый берег р. Катунь). Возраст плодоносящих кустов составлял от 9 до 15 лет, формировка кустов бесштамбовая, веерная. Виноград выращивается по неукрывной технологии;

2) молодые виноматериалы, полученные брожением по красному способу из исследуемых сортов винограда;

3) крепленые виноматериалы на различных стадиях выдержки (портвейнизации);

4) образцы готовых портвейнов, полученные с использованием разработанных технологических режимов.

5) три коммерческих образца красных портвейнов, производящихся на территории Российской Федерации. В целях исключения конфликтов интересов коммерческая идентификация производителей намеренно скрыта. Происхождение образцов оценщикам не раскрывалось.

В качестве вспомогательных материалов в исследовании использовали:

– дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, штамм Lallemant Cross Evolution™ (Lallemant, Канада), рекомендованные для производства красных вин. Дрожжи характеризуются низкой потребностью в азоте, устойчивостью к спирту (до 15 % об.), низким потенциалом образования SO₂, а также высоким потенциалом к образованию глицерина. Рекомендованная температура брожения 14–20 °С. Кри-

териями выбора штамма послужили: высокая ферментативная активность, минимизирующая риск замедленного брожения при внесении в сусло и умеренная продукция высших спиртов;

– дрожжи *Metschnikowia pulcherrima*, штамм Lallemend Flavia® (Lallemend, Канада). Требуемое содержание усваиваемого азота в сусле – не менее 100 мг/дм³. Дрожжи рекомендовано использовать для усиления сортового аромата вина при последовательной инокуляции. Температура брожения 15–22 °С. Выбор штамма дрожжей выполнялся исходя из задач работы – требовалось направленное увеличение веществ, отвечающих за вторичный аромат виноматериала для портвейна. Критериями выбора послужили: высокая β-глюкозидазная активность, обеспечивающая высвобождение терпенов из гликозидов; способность к синтезу соединений, отвечающих за фруктовые тона; низкая толерантность к этанолу, что гарантирует естественное угасание популяции при внесении *S. cerevisiae*;

– дубовая щепка (дуб черешчатый (*Quercus robur*), слабая обжарка, производитель ООО «Виномакс», Россия).

– диоксид серы (в форме пиросульфита калия) для сульфитации.

– бентонит для осветления виноматериалов.

– реактивы для химического анализа квалификации не ниже х. ч. и ч. д. а.

Для исследований были использованы два типа спиртующих агентов:

– этиловый спирт-ректификат марки «Люкс» (ОАО «Иткульский спиртзавод», Россия), соответствующий требованиям ГОСТ 5962-2013;

– винный дистиллят, полученный методом прямой перегонки сухих виноградных вин из сорта «Рислинг» в лабораторных условиях на медном аламбике (объем 20 л) с отбором головной и хвостовой фракций. Выдержка дистиллята перед использованием – 6 мес. в стеклянных емкостях.

Характеристики спиртующих агентов представлены в таблице 1.

Содержание летучих соединений дистиллята представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Фактические физико-химические показатели использованных спиртующих агентов

Показатель	Спирт-ректификат	Винный дистилят
Объемная доля этилового спирта, %	$96,3 \pm 0,2$	$86,5 \pm 0,4$
Массовая концентрация альдегидов (в пересчете на уксусный), мг/дм ³ б. с.	$0,8 \pm 0,1$	$28,4 \pm 2,1$
Массовая концентрация сивушного масла, мг/дм ³ б. с.	$1,2 \pm 0,2$	$1560,6 \pm 85,1$
Массовая концентрация эфиров (в пересчете на уксусно-этиловый), мг/дм ³ б. с.	$0,5 \pm 0,1$	$342,7 \pm 18,2$
Массовая концентрация метанола, % б. с.	0,003	0,012
Активная кислотность, ед. pH	$6,8 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,1$

Таблица 2 – Содержание ключевых летучих соединений в винном дистиляте, мг/дм³

Соединение	Концентрация	Сенсорный дескриптор
Сложные эфиры		
Этилацетат	$124,6 \pm 8,7$	Фруктовый, растворитель
Этилбутаноат	$8,3 \pm 0,6$	Ананас, фруктовый
Этилгексаноат	$15,7 \pm 1,1$	Яблочный, ананас
Этилоктаноат	$12,4 \pm 0,9$	Фруктовый, винный
Этилдеcanoат	$9,8 \pm 0,7$	Виноград, цветочный
Изоамилацетат	$3,2 \pm 0,3$	Банан, груша
2-Фенилэтилацетат	$2,1 \pm 0,2$	Цветочный, розовый
Высшие спирты		
Изоамиловый спирт	876 ± 52	Сивушный, алкогольный
Изобутиловый спирт	312 ± 21	Алкогольный, фруктовый
1-Пропанол	158 ± 11	Алкогольный
2-Фенилэтиловый спирт	$18,7 \pm 1,3$	Роза, мед
Альдегиды		
Ацетальдегид	$42,3 \pm 3,0$	Зеленое яблоко, прелое
Бензальдегид	$1,8 \pm 0,1$	Горький миндаль
Фурфурол	$0,9 \pm 0,1$	Миндаль, карамель
Терпены		
Линалоол	$0,7 \pm 0,1$	Цветочный, цитрус
α -Терпинеол	$0,41 \pm 0,05$	Сирень, древесный

Как видно из таблиц 1 и 2, винный дистиллят содержит широкий спектр летучих соединений, которые потенциально могут обогатить аромат портвейна. Особенно значимы высокие концентрации сложных эфиров (этилгексаноат, этилоктаноат, этилдеcanoат), ответственных за фруктовые тона, и 2-фенилэтилового спирта, придающего цветочные оттенки.

2.3 Перечень методов аналитического контроля

Все исследования проводили в трех-пяти повторностях. Результаты представляли как среднее арифметическое значение $\pm$ стандартное отклонение.

В работе использовали следующие стандартные и общепринятые методы анализа:

- массовую концентрацию сахаров определяли рефрактометрическим методом по ГОСТ 27198-87 «Виноград свежий. Методы определения массовой концентрации сахаров». Измерения проводили на рефрактометре HSR-500 (Atago, Япония);

- массовую концентрацию титруемых кислот (в пересчете на винную кислоту) определяли потенциометрическим методом по ГОСТ 25555.0-82 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности» с использованием рН-метра Нитрон-рН (НПП «Биомер», Россия);

- сахарокислотный индекс рассчитывали как отношение массовой концентрации сахаров к массовой концентрации титруемых кислот;

- объемную долю этилового спирта определяли методом дистилляции с последующим измерением плотности дистиллята пикнометрическим методом по ГОСТ 32095-2013;

– массовую концентрацию сахаров в виноматериалах определяли перманганатометрическим методом по ГОСТ 13192-73 «Вина, виноматериалы и коньяки. Метод определения сахаров»;

– активную кислотность образцов (рН) измеряли потенциометрически на рН-метре «Нитрон-рН» (НПП «Биомер», Россия);

– массовую концентрацию летучих кислот определяли методом паровой дистилляции по ГОСТ 32001-2012 «Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения массовой концентрации летучих кислот»;

– массовую концентрацию общего и свободного диоксида серы определяли йодометрическим методом по ГОСТ 32115-2013 «Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения массовой концентрации свободного и общего диоксида серы»;

– сумму фенольных веществ определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина – Чокальтеу [78; 95; 132]. Оптическую плотность измеряли при длине волны 765 нм на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 (Япония). Калибровку проводили по галловой кислоте.

– массовую концентрацию антоцианов определяли методом дифференциальной спектрофотометрии при рН 1,0 и 4,5 [109; 146]. Расчет вели в пересчете на мальвидин-3,5-дигликозид.

– цветовые характеристики оценивали, измеряя оптическую плотность образцов при длинах волн 420; 520 и 620 нм [93; 98; 154]. Интенсивность цвета рассчитывали как сумму значений оптической плотности при 420; 520 и 620 нм ($I = D_{420} + D_{520} + D_{620}$). Оттенок цвета определяли как отношение D_{420}/D_{520} . Для оценки цвета в системе CIE XYZ определяли трихроматические координаты с использованием программного обеспечения спектрофотометра.

В работе использован следующий инструментарий микробиологического анализа.

Подготовку инокулята активных сухих дрожжей проводили согласно инструкции производителя. Активацию дрожжей осуществляли в 5 % растворе сахарозы при температуре 37 °С в течение 20–30 мин.

Контроль численности дрожжевых клеток в процессе брожения осуществляли методом прямого счета в камере Горяева под микроскопом Levenhuk MED D35T с системой визуализации изображения (ПАО «Левенгук», Россия). Жизнеспособность клеток определяли окрашиванием метиленовым синим. Для индивидуального учета каждого из видов дрожжей использовали следующие дифференциальные признаки:

– *S. cerevisiae*: шаровидные, овальные или эллипсоидальные одиночные клетки со следами почкования (рубцы), часто почкующиеся, не имеющие собственной окраски;

– *M. pulcherrima*: лимоновидные, удлинено-овальные клетки, разнородные по форме; почки мелкие, располагаются на заостренном конце; имеют коричнево-красные включения; расположены мелкими скоплениями или в виде цепочек по 3–4 клетки.

Выделение и идентификацию дрожжей проводили путем посева на плотные питательные среды (сусло-агар, среда Сабуро) с последующей микроскопией и изучением культуральных и морфологических признаков.

Идентификацию и количественное определение летучих ароматических соединений в виноматериалах, портвейнах и спиртующих агентах проводили методом газовой хроматографии с использованием газового хроматографа «Хромос ГХ-1000» (Россия) с пламенно-ионизационным детектором (колонка HP-FFAP 50 м × 0,32 мм × 0,5 мкм). Режимы хроматографирования: температуру термостата колонки программировали от 50 °С (выдержка 3 мин) с нагревом 4 °С/мин до 120 °С, далее 10 °С/мин до 230 °С (выдержка 10 мин); температура инжектора 250 °С, детектора – 260 °С; носитель – азот, расход 1,5 см³/мин. Количественное определение проводили методом внутреннего стандарта по калибровочным графикам, построенным для каждого соединения на серии из шести стандартных растворов в диапазонах: для сложных эфиров и высших спиртов – 0,1–50 мг/дм³; для следовых соединений – 0,1–500 мкг/дм³. Стандартные растворы готовили из образцов с содержанием основного вещества не менее 99 % (Sigma-Aldrich, Merck, «Реахим») на модельной системе вина (этанол 18 %, сахар 80 г/дм³, винная кислота

5 г/дм³, рН 3,5). Внутренним стандартом служил 4-метил-2-пентанол (16 мг/дм³), время удерживания которого не пересекалось с анализируемыми соединениями.

Массовую концентрацию ассимилируемого (аминного) азота определяли формольным титрованием. К пробе (25 см³ виноматериала, разведенного дистиллированной водой до 100 см³) добавляли 15 см³ нейтрализованного раствора формалина (30 %). Образовавшиеся продукты реакции оттитровывали 0,05 н. раствором гидроксида натрия потенциометрически (иономер «Анион 4100») до рН 8. Холостой опыт проводили аналогично на дистиллированной воде. Массовую концентрацию ассимилируемого азота (X , мг/дм³) рассчитывали по формуле

$$X = \frac{(V - V_0) \cdot C \cdot M_N \cdot 1000}{V_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где V – объем 0,05 н. раствора щелочи, пошедший на титрование пробы, см³; V_0 – объем щелочи в холостом опыте, см³; C – молярная концентрация эквивалента щелочи, моль/дм³ (0,05); M_N – молярная масса азота, г/моль; $V_{\text{пр}}$ – объем пробы виноматериала, см³.

Общее содержание липидов определяли после экстракции смесью хлороформа и метанола 2:1 с последующим удалением растворителя на ротационном испарителе. Остаток липидов в колбе высушивали при 60 °С до постоянной массы и взвешивали.

Сумму жирных кислот C₆–C₁₂ определяли газохроматографически после омыления липидного экстракта (остаток после определения общего содержания липидов). Образующиеся свободные жирные кислоты экстрагировали гексаном и метилировали. Метилловые эфиры жирных кислот разделяли на газовом хроматографе и проводили количественное определение методом абсолютной градуировки.

Органолептический анализ образцов проводили в соответствии с ГОСТ ISO 8587-2015 «Органолептический анализ. Методология. Ранжирование», ГОСТ 32051-2013 «Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа» (в части требований к помещениям для проведения дегустаций, подготовки и по-

рядка представления проб на дегустацию, определения прозрачности, наличия осадка). Для детальной органолептической характеристики образцов использовали разработанную в рамках настоящего исследования панель дескрипторов (представлена в главе 4). Оценку интенсивности каждого дескриптора проводили по 5-балльной шкале (0 – не ощущается, 5 – очень интенсивно). Результаты усредняли и строили профилограммы.

В состав дегустационной комиссии входили 11 оценщиков (сотрудники кафедры биотехнологии БТИ АлтГТУ, представители предприятий), имеющих опыт сенсорного анализа винодельческой продукции и прошедших предварительную проверку сенсорной чувствительности.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ Statistica 10 (StatSoft, США) и Microsoft Excel 2016.

Для оценки влияния качественных факторов (сорт винограда, год урожая, тип дрожжей, режим микрооксигенации, тип спиртующего агента) на количественные показатели применяли многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA).

Сравнение средних значений проводили с использованием критерия Тьюки (Tukey's HSD test) для множественных сравнений при уровне значимости $p < 0,05$.

Силу влияния факторов (в процентах) оценивали методом Снедекора [108].

Для классификации сортов винограда по комплексу показателей и группировки образцов по сходству сенсорных профилей использовали кластерный анализ (метод полной связи, мера близости – евклидово расстояние).

Для выявления взаимосвязей между химическими и сенсорными показателями применяли корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона) и метод главных компонент (PCA).

Кинетические параметры реакций деградации антоцианов (константы скорости k , периоды полупревращения $t_{1/2}$, энергии активации E_a) рассчитывали, аппроксимируя экспериментальные данные уравнениями реакции первого порядка и уравнением Аррениуса с использованием нелинейного регрессионного анализа.

3 Исследование факторов, формирующих аромат портвейна из продукции виноградарства Алтайского края

3.1 Оценка технологического потенциала продукции виноградарства Алтайского края

3.1.1 Физико-химические показатели

Оценку технологической пригодности сортов проводили в динамике за три вегетационных периода (2022–2024 гг.) по технологически значимым показателям: массовой концентрации сахаров, массовой концентрации титруемых кислот и сахарокислотному индексу (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические показатели красных сортов винограда ($M \pm m$, $n = 3$)

Сорт винограда	Год сбора урожая		
	2022	2023	2024
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³			
Зилга (1–3)	191,3 ± 5,2 ²⁵	181,0 ± 5,0	173,3 ± 3,8 ^{4,5,8,26,27}
Таежный (4–6)	169,5 ± 3,7 ^{3,5,7–9,16,26,27}	172,5 ± 3,3 ^{3,4,7–9,16,26,27}	152,7 ± 6,2 ^{17–19,24}
Мускат Донской (7–9)	166,3 ± 5,2 ^{4,5,9,16,22,26,27}	173,7 ± 5,2 ^{3,5,26,27}	166,7 ± 6,2 ^{4,5,7,16,26,27}
Фиолетовый ранний (10–12)	141,3 ± 5,2 ^{13,21,23,24}	120,7 ± 3,8 ^{12,15}	121,3 ± 3,8 ^{11,15}
Загадка Шарова (13–15)	136,3 ± 5,2 ^{10,14,20}	130,7 ± 5,2 ^{13,20}	122,0 ± 6,6 ^{11,12}
Дорнфельдер (16–18)	166,3 ± 6,2 ^{4,5,7,9,22,26,27}	149,7 ± 5,2 ^{6,19,21,23,24}	156,3 ± 3,8 ^{6,19,22}
Шварц Рислинг (19–21)	151,0 ± 5,0 ^{6,17,19,21,23,24}	133,3 ± 5,2 ^{13,14}	145,0 ± 4,3 ^{10,17,19,23,24}
Каберне Северный (22–24)	160,0 ± 6,6 ^{7,16,18}	144,3 ± 6,2 ^{10,17,19,21,24}	146,3 ± 3,8 ^{6,10,17,19,21,23}
Памяти Домбковской (25–27)	187,7 ± 3,8 ¹	170,3 ± 5,2 ^{3–5,7–9,16,27}	170,0 ± 4,3 ^{3–5,7–9,16,26}

Продолжение таблицы 3

Сорт винограда	Год сбора урожая		
	2022	2023	2024
Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³			
Зилга (1–3)	7,61 ± 0,08	8,18 ± 0,06	8,30 ± 0,08
Таежный (4–6)	10,22 ± 0,08	11,61 ± 0,06	12,00 ± 0,09
Мускат Донской (7–9)	11,32 ± 0,11 ²⁶	12,35 ± 0,08 ¹⁸	12,79 ± 0,06
Фиолетовый ранний (10–12)	4,91 ± 0,07	5,70 ± 0,07 ¹⁴	5,94 ± 0,05 ¹⁵
Загадка Шарова (13–15)	4,31 ± 0,07	5,66 ± 0,05 ¹¹	5,95 ± 0,04 ¹²
Дорнфельдер (16–18)	10,67 ± 0,07	11,15 ± 0,08	12,36 ± 0,05 ⁸
Шварц Рислинг (19–21)	13,27 ± 0,05	14,84 ± 0,09	15,74 ± 0,05 ²⁴
Каберне Северный (22–24)	13,71 ± 0,04 ²³	15,72 ± 0,07 ²²	16,22 ± 0,04 ²¹
Памяти Домбковской (25–27)	9,03 ± 0,09	11,25 ± 0,04 ⁷	13,42 ± 0,05
Примечание – Надстрочными индексами обозначены группы, различающиеся при $p < 0,05$ по критерию Тьюки.			

Установлено, что для массовой концентрации сахаров наибольший вклад в изменчивость показателя вносят сортовые различия – 71,1 % ($p < 0,01$); вклад фактора «год урожая» составил 26,4 % ($p < 0,01$), взаимодействия факторов – 2,4 % ($p < 0,01$).

Максимальное содержание сахаров на протяжении всего периода наблюдений характерно для сортов Зилга и Памяти Домбковской (в отдельные годы достигавшее 191,3 и 187,7 г/дм³ соответственно). Минимальные значения сахаристости отмечены для сортов Фиолетовый ранний и Загадка Шарова (121,3–141,3 г/дм³).

Вместе с тем особого внимания заслуживает вегетационный период 2024 г., характеризовавшийся экстремальными погодными условиями: затяжными дождями при понижении температуры до 18–20 °С продолжительностью более 10 сут, сменявшимися периодами аномальной жары (выше 35 °С). В результате отмечено снижение сахаристости большинства сортов, наибольшее – для сорта Таежный (на 11,5 % относительно 2023 г.). В то же время сорта Фиолетовый ранний, Дорнфельдер, Шварц Рислинг, Каберне Северный и Памяти Домбковской сохранили сахаристость на уровне предыдущего года, а для сорта Шварц Рислинг зафикс-

сировано увеличение на 8,7 %, что, вероятно, свидетельствует об их адаптационном потенциале.

Для массовой концентрации титруемых кислот установлено, что наибольший вклад в изменчивость показателя вносят сортовые различия – 80,5 % ($p < 0,01$); вклад фактора «год урожая» составил 18,7 % ($p < 0,01$), взаимодействия факторов – 0,8 % ($p < 0,01$). Полученные данные свидетельствуют о высокой сортовой специфичности данного показателя и его относительной стабильности в различных погодных условиях.

Максимальные значения титруемой кислотности на протяжении всех трех лет наблюдений характерны для сортов Шварц Рислинг (13,27–15,74 г/дм³) и Каберне Северный (13,71–16,22 г/дм³). В 2024 г. высокая кислотность также зафиксирована для сортов Мускат Донской, Дорнфельдер и Памяти Домбковской, что, вероятно, связано с отмеченными выше особенностями вегетационного периода [12; 13; 39]. Минимальной кислотностью отличаются сорта Фиолетовый ранний и Загадка Шарова (4,31–5,95 г/дм³), что позволяет рассматривать их в качестве сырья для купажирования с высококислотными сортами.

Для сравнительной оценки полученных результатов использованы литературные данные по классическим сортам, применяемым в производстве портвейна в регионе Дору (Торига Насионал (TN)), а также по международным сортам (Шираз (SH), Каберне Совиньон (CS)), которые также могут рассматриваться как нетрадиционные для производства портвейна [57; 134] (таблица 4).

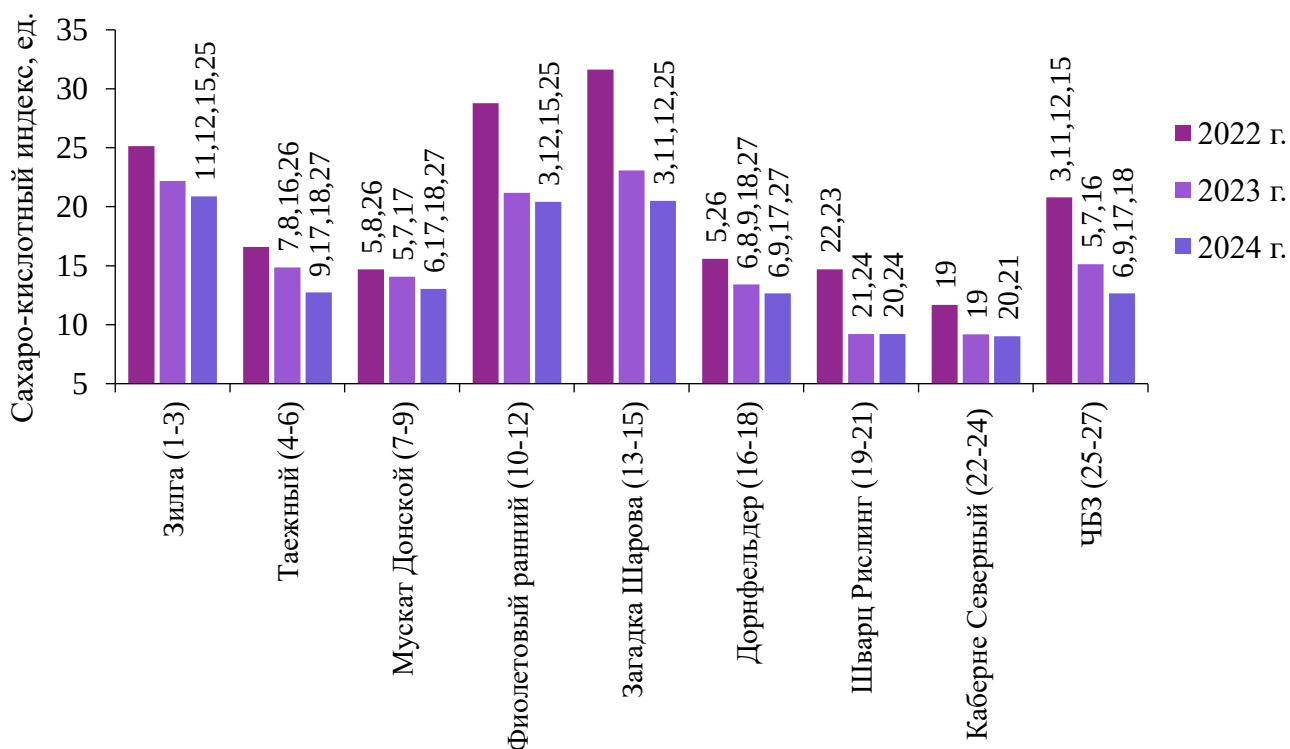
Все изученные сорта винограда характеризуются существенно более низкой сахаристостью (127,8–181,9 г/дм³) по сравнению с эталонными сортами региона Дору (248,5–267,3 г/дм³). Отмеченные различия обусловлены более коротким и прохладным вегетационным периодом в условиях резко континентального климата Алтайского края и согласуются с данными исследований, проведенных в зонах рискованного земледелия [17; 20; 110].

Таблица 4 – Физико-химические параметры сусла из исследуемых сортов винограда перед брожением

Сорт винограда		Содержание сахаров в сусле, г/дм ³	Титруемая кислотность, г/дм ³	pH сусла, ед.
Опытные сорта	Зилга	181,9 ± 2,6 ^a	8,03 ± 0,2 ^b	3,35 ± 0,05 ^b
	Памяти Домбковской	176,0 ± 3,4 ^a	11,23 ± 0,3 ^a	3,11 ± 0,03 ^c
	Фиолетовый ранний	127,8 ± 4,2 ^c	5,52 ± 0,2 ^c	3,69 ± 0,05 ^a
	Загадка Шарова	129,7 ± 3,7 ^c	5,31 ± 0,3 ^c	3,72 ± 0,03 ^a
	Каберне Северный	150,1 ± 4,5 ^b	8,4 ± 0,3 ^b	3,37 ± 0,04 ^b
Литературные данные [57; 134]	TN	248,5 ± 5,2	6,2 ± 0,3	3,55 ± 0,05
	SH	267,3 ± 4,8	4,8 ± 0,2	3,82 ± 0,06
	CS	255,1 ± 6,0	5,5 ± 0,3	3,68 ± 0,05
Пр и м е ч а н и е – Разные строчные буквы в пределах одного параметра (в столбце) обозначают статистически значимые различия между сортами по тесту Тьюки при $p < 0,05$.				

Вместе с тем титруемая кислотность плодов сортов Памяти Домбковской (11,23 г/дм³) и Каберне Северный (8,4 г/дм³) достоверно превышала значения, характерные для сорта Ториго Насионал (6,2 г/дм³), что позволяет рассматривать данные сорта в качестве сырья для производства вин с выраженной кислотной структурой. Отмеченная особенность приобретает особое значение ввиду имеющихся данных о том, что в условиях потепления климата классические сорта все чаще характеризуются избыточным сахаронакоплением при снижении кислотности [110]. Вместе с тем виноград сортов Фиолетовый ранний и Загадка Шарова показал значения pH (3,69 и 3,72 соответственно), сопоставимые с таковыми для сорта Шираз (3,82). С одной стороны, это может способствовать формированию более мягкого вкусового профиля напитка, а с другой – потребует особого внимания к обеспечению микробиологической стабильности портвейна, в первую очередь в период выдержки.

Важнейшим интегральным показателем технологической зрелости винограда является сахарокислотный индекс (рисунок 5), характеризующий гармоничность вкуса и пригодность для различных направлений переработки.



Примечание – Различия средних значений с разными надстрочными буквами несущественны ($p < 0,05$).

Рисунок 5 – Значение сахарокислотного индекса исследуемых сортов винограда по годам исследования

Анализ сахарокислотного индекса показал, что данный показатель также в значительной степени определяется сортовыми особенностями (сила влияния 60,4 %, $p < 0,01$), хотя влияние года урожая также существенно (37,5 %, $p < 0,01$).

Наиболее высокие значения сахарокислотного индекса (свыше 20) на протяжении всего периода наблюдений характерны для винограда сортов Зилга, Фиолетовый ранний и Загадка Шарова. Столь высокий индекс свидетельствует о хорошей гармоничности вкуса ягод и возможности их использования как для потребления в свежем виде, так и для производства винодельческой продукции без предварительного купажирования. Для сорта Зилга это достигается за счет высокого сахаронакопления, для сортов Фиолетовый ранний и Загадка Шарова – за счет экстремально низкой кислотности.

Противоположная ситуация наблюдается для сортов Каберне Северный и Шварц Рислинг, для которых низкий сахарокислотный индекс (менее 10) обусловлен сочетанием низкого сахаронакопления с высокой кислотностью, что, веро-

ятно, свидетельствует о недостаточной физиологической зрелости плодов в условиях Алтайского края и не позволяет рассматривать данные сорта в качестве сырья для производства вин высокого качества без применения специальных технологических приемов.

Для группировки сортов по совокупности физико-химических показателей применен метод кластерного анализа. Результаты кластерного анализа представлены на рисунке 6 в виде дендрограммы, отражающей степень сходства исследуемых сортов по показателям сахаристости и титруемой кислотности.

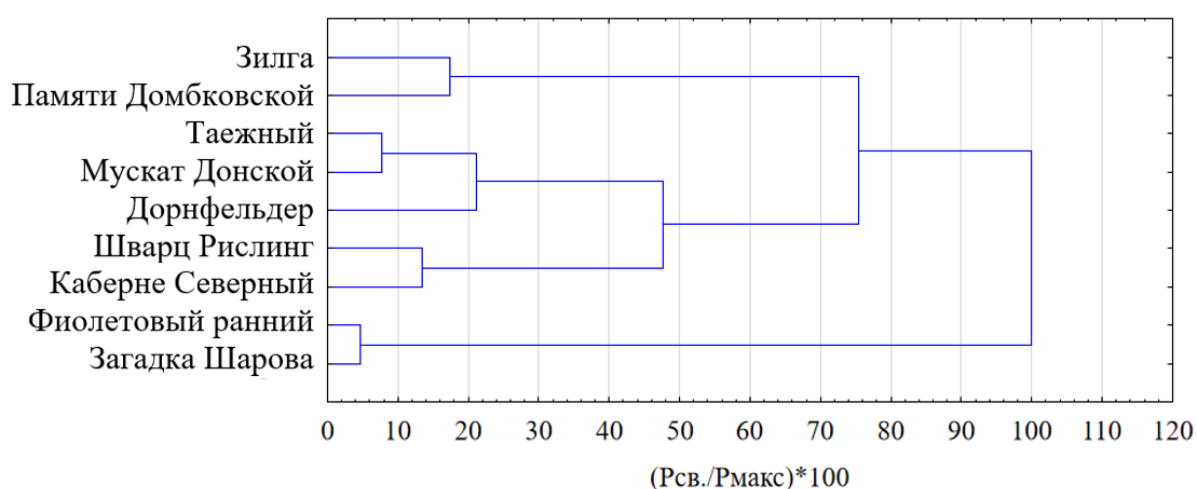


Рисунок 6 – Дендрограмма кластеризации сортов винограда по физико-химическим показателям

Анализ дендрограммы показывает, что исследуемые сорта образуют четыре основных кластера.

Первый кластер образуют сорта Зилга и Памяти Домбковской, характеризующиеся максимальным накоплением сахаров при умеренной титруемой кислотности. По совокупности показателей данные сорта обладают высоким технологическим потенциалом для производства красных портвейнов, обеспечивая хорошую спиртуозность и достаточный уровень экстрактивности.

Второй кластер представлен сортами Фиолетовый ранний и Загадка Шарова, отличающимися низкой кислотностью и умеренным сахаронакоплением, в результате чего для них характерен высокий сахарокислотный индекс. Данные сорта

представляют интерес в качестве купажных компонентов для снижения кислотности высококислотных сортов, а также как сырье для производства портвейнов мягкого вкусового профиля.

Третий кластер объединяет сорта Каберне Северный и Шварц Рислинг с низким сахаронакоплением и высокой титруемой кислотностью. Как было отмечено выше, для данных сортов характерна недостаточная физиологическая зрелость плодов в условиях Алтайского края, в связи с чем их использование в качестве моносортового сырья затруднительно; вместе с тем возможно их применение в купажах в небольших количествах для придания винам структуры и кислотного каркаса.

Четвертый кластер включает сорта Таежный, Мускат Донской и Дорнфельдер, занимающие промежуточное положение между первой и третьей группами и характеризующиеся средними значениями сахаристости и титруемой кислотности. Данные сорта могут рассматриваться в качестве универсального сырья для производства вин различных типов, при условии корректировки технологических режимов.

Таким образом, проведенная кластеризация позволила объективно ранжировать исследуемые сорта по их физико-химическим свойствам.

3.1.2 Ароматический профиль виноматериалов из сортов винограда Алтайского края

Был охарактеризован сортовой (первичный) аромат (таблица 5). Наиболее выраженный терпеновый профиль из изученных сортов имеет Фиолетовый ранний: концентрация линалоола в его виноматериале достигает 37,3 мкг/дм³ (OAV 2,49), тогда как у Ториго Насионал, сорта для портвейнов, – 18,7 мкг/дм³ (OAV 1,25). Практическое следствие достаточно очевидно: виноматериалы на его основе должны приобретать выраженный цветочно-мускатный тон, нетипичный для базовых

вых виноматериалов портвейна [50]. Иной характер носит ароматический профиль сорта Зилга, в котором, как и ожидалось, содержится значительное количество метилантранилата – 64,6 мкг/дм³ (OAV 1,44); этим и определяется его «изабельный» ароматический тип. Для портвейнов подобные тона нехарактерны, поэтому необходимо ограничить долю сорта в купаже либо, напротив, использовать его как основу для портвейна с оригинальным ароматическим профилем.

Таблица 5 – Концентрации ключевых первичных ароматических соединений в винограде

Сорт винограда		Концентрация, мкг/дм ³			
		Линалоол	β-Дамасценон	Метилантранилат	2-Изобутил-3-метоксипиразин
Опытные сорта	Зилга	11,3 ± 1,1 ^c	1,85 ± 0,14 ^b	64,6 ± 2,3 ^a	0,006 ± 0,002 ^b
	Памяти Домбковской	2,9 ± 0,2 ^e	1,67 ± 0,11 ^b	–	0,011 ± 0,002 ^{ab}
	Фиолетовый ранний	37,3 ± 1,9 ^a	2,27 ± 0,16 ^a	1,3 ± 0,2 ^c	–
	Загадка Шарова	24,3 ± 1,4 ^b	1,72 ± 0,11 ^b	12,3 ± 0,8 ^b	–
	Каберне Северный	6,1 ± 0,6 ^d	0,35 ± 0,08 ^c	–	0,024 ± 0,004 ^a
Литературные данные [55; 86; 134]	TN	18,7 ± 1,5	2,45 ± 0,20	–	–
	SH	3,1 ± 0,4	1,05 ± 0,15	–	–
	CS	5,5 ± 0,6	1,75 ± 0,18	–	0,013 [13]
<p>Примечание – Разные строчные буквы в пределах одного параметра (в столбце) обозначают статистически значимые различия между сортами по тесту Тьюки при $p < 0,05$. «–» – вещество не идентифицировано (или нет данных в литературе).</p>					

Значительный вклад в ягодно-цветочную ароматику красных вин и портвейнов [86] вносит норизопреноидное соединение β-дамасценон, которое было обнаружено в значимых концентрациях у большинства алтайских сортов, за исключением Каберне Северный (0,35 мкг/дм³; OAV 7). Наибольшие значения OAV (34,4–45,4) отмечены для сортов Фиолетовый ранний, Зилга и Загадка Шарова, что сопоставимо с таковыми для сортов Торига Насионал (OAV 49) и Каберне Совиньон (OAV 35). Полученные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на климатические различия, данные сорта способны накапливать предшественники, формиру-

Таблица 6 – Концентрации ключевых вторичных ароматических соединений в молодых виноматериалах перед спиртованием

Сорт винограда		Концентрация, мг/дм ³					
		Изоамил-ацетат	Этил-гексаноат	Этил-деcanoат	Изоамиловый спирт	Изо-бутиловый спирт	2-Фенил-этиловый спирт
Опытные сорта	Зилга	1,68 ± 0,14 ^b	0,36 ± 0,03 ^c	0,56 ± 0,04 ^b	287 ± 18 ^{a-d}	38 ± 4 ^{a-d}	22 ± 2 ^c
	Памяти Домбковской	0,89 ± 0,09 ^c	0,18 ± 0,02 ^{cd}	0,37 ± 0,04 ^c	326 ± 24 ^{a-d}	42 ± 6 ^{a-d}	33 ± 4 ^a
	Фиолетовый ранний	2,7 ± 0,22 ^a	1,68 ± 0,11 ^a	0,87 ± 0,08 ^a	267 ± 19 ^{a-d}	33 ± 4 ^{a-d}	29 ± 3 ^{ab}
	Загадка Шарова	1,15 ± 0,11 ^c	1,24 ± 0,07 ^b	0,34 ± 0,03 ^c	296 ± 14 ^{a-d}	36 ± 8 ^{a-d}	24 ± 2 ^{bc}
	Каберне Северный	0,5 ± 0,06 ^d	0,24 ± 0,04 ^d	0,11 ± 0,01 ^d	287 ± 19 ^{a-d}	36 ± 5 ^{a-d}	16 ± 2 ^d
Литературные данные [55; 86; 134]	TN	2,15 ± 0,25	0,85 ± 0,10	0,42 ± 0,05	285 ± 25	35 ± 5	28 ± 4
	SH	3,65 ± 0,30	1,60 ± 0,15	0,95 ± 0,10	320 ± 30	45 ± 6	22 ± 3
	CS	2,90 ± 0,28	1,25 ± 0,12	0,65 ± 0,08	295 ± 28	38 ± 5	25 ± 4
Примечание – Разные строчные буквы в пределах одного параметра (в столбце) обозначают статистически значимые различия между сортами по тесту Тьюки при $p < 0,05$.							

Таблица 7 – Значения показателя активности запаха летучих соединений исследуемых сортов винограда и молодых вин

Соединение	Порог восприятия [86; 150]	Активность запаха (OAV)							
		Опытные сорта					Литературные данные [55; 113; 134]		
		Зилга	Памяти Домбковской	Фиолетовый ранний	Загадка Шарова	Каберне Северный	TN	SH	CS
Линалоол	15 мкг/дм ³	0,75	0,19	2,49	1,62	0,41	1,25	0,21	0,37
β-дамасценон	0,05 мкг/дм ³	37,0	33,4	45,4	34,4	7,0	49,0	21,0	35,0
Метилантранилат	45 мкг/дм ³	1,44	—	0,03	0,37	—	—	—	—
2-Изобутил-3-метоксипиразин	0,015 мкг/дм ³	0,4	0,73	—	—	1,6	—	—	0,87
Изоамилацетат	0,03 мг/дм ³	56,0	29,7	90,0	38,3	16,7	71,7	121,7	96,7
Этилгексаноат	0,08 мг/дм ³	4,5	2,3	21,0	15,5	3,0	10,6	20,0	15,6
Этилдеcanoат	0,2 мг/дм ³	2,8	1,85	4,35	1,7	0,55	2,1	4,75	3,25
Изоамиловый спирт	30 мг/дм ³	9,6	10,9	8,9	9,7	9,6	9,5	10,7	9,8
Изобутиловый спирт	40 мг/дм ³	0,95	1,05	0,83	0,90	0,9	0,88	1,1	0,95
2-Фенилэтиловый спирт	10 мг/дм ³	2,2	3,3	2,9	2,4	1,6	2,8	2,2	2,5

Вместе с тем по данному показателю сорт Фиолетовый ранний оказался близок к сорту Шираз, для которого характерен высокий синтез эфиров. Сорта Зилга и Загадка Шарова характеризуются умеренным эфирным профилем, наименьшие значения отмечены для сортов Памяти Домбковской и Каберне Северный. Концентрации высших спиртов во всех образцах находились в диапазонах, типичных для вин, и, по-видимому, не оказывают отрицательного влияния на аромат.

Сравнительный анализ OAV (см. таблицу 7) показывает, что ароматический профиль виноматериалов определяется вкладом трех групп соединений: норизопреноидов (β-дамасценона) и сложных эфиров (изоамилацетата, этилгексаноата), а для отдельных сортов – специфических маркеров (линалоола, метилантранилата). Соотношение данных компонентов будет определять ароматический профиль портвейна. Так, профиль виноматериалов сорта Фиолетовый ранний складывается под влиянием фруктового компонента (сложные эфиры: изоамилацетат – банановый тон, этилгексаноат – яблочный) и цветочного (терпены), а также значимого

вклада β -дамасценона (спелое яблоко, роза) [61]. Ароматический профиль сорта Зилга определяется сочетанием «изабельного» тона (метилантранилат), ягодного (β -дамасценон) и фруктового эфирного фона.

Таким образом, впервые оценен ароматический потенциал сортов винограда, нетрадиционных для производства портвейна и произрастающих в условиях резко континентального климата Алтайского края; оценка проводилась на этапе, предшествующем спиртованию, в условиях, моделирующих производство портвейна. Сопоставление с данными по классическим сортам региона Дору показало, что различия затрагивают как физико-химические параметры сула, так и качественный и количественный состав летучих соединений.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что даже в прохладном климате Алтайского края возможно получить виноматериалы с разнообразным ароматическим потенциалом, пригодные для производства портвейна типа Ruby. Наибольший интерес представляют сорта Фиолетовый ранний и Загадка Шарова в связи с сочетанием значимых концентраций сортовых ароматических предшественников и активным образованием дрожжами фруктовых эфиров. При этом их профиль отличается от классического эталона (Торига Насионал), однако является сложным и сбалансированным. Виноград сорта Зилга имеет уникальный по составу, однако нетипичный для классических портвейнов аромат, а сорт Каберне Северный подтвердил низкую пригодность для данной цели ввиду преобладания травянистых тонов. Полученные данные закладывают основу для последующего изучения влияния спиртования и выдержки на изменение аромата данных нетрадиционных сортов, что является следующим этапом оценки их технологического потенциала [84; 106] с учетом опыта исследования белых сортов винограда [18].

Установлено, что сорта Фиолетовый ранний, Загадка Шарова и Зилга обладают высоким и дифференцированным ароматическим потенциалом, формируемым как сортовыми (первичными), так и дрожжевыми (вторичными) соединениями. Важнейшими компонентами аромата всех изученных образцов являются β -дамасценон и сложные эфиры (изоамилацетат, этилгексаноат), содержание которых значительно превышает пороги восприятия.

Для каждого сорта выявлены сортоспецифичные характеристики:

– виноград сорта Фиолетовый ранний отличается исключительно высоким содержанием линалоола, формирующим яркий цветочно-мускатный тон, и максимальным среди изученных сортов уровнем накопления фруктовых эфиров, что в совокупности определяет его как сорт с наиболее интенсивным и сбалансированным ароматическим профилем;

– виноград сорта Загадка Шарова характеризуется высокими концентрациями β -дамасцена и этилгексаноата, формирующими гармоничный ягодно-яблочный профиль при умеренной общей эфирности;

– виноград сорта Зилга представляет уникальный ароматический тип, сочетая высокий фон β -дамасцена и эфиров со специфическим «изабельным» тоном, обусловленным присутствием метилантранилата.

Сорта винограда Каберне Северный и Памяти Домбковской признаны наименее перспективными для производства портвейнов. Для первого это обусловлено доминированием травянистых тонов (метоксипиразины) при крайне низком содержании позитивных ароматических соединений, что является следствием его неполной физиологической зрелости в условиях Алтайского края. Второй характеризуется нейтральным первичным и умеренным вторичным ароматическим профилем без выраженных сортовых маркеров.

Таким образом, полученные результаты позволяют осуществить обоснованный выбор сырья для дальнейших исследований. В качестве основных объектов для отработки технологических приемов управления вторичным и третичным ароматом выбраны сорта Фиолетовый ранний и Загадка Шарова, обладающие наиболее высоким и технологически управляемым ароматическим потенциалом; сорт Зилга представляет интерес как носитель уникального ароматического профиля и может быть использован в сравнительных экспериментах и при разработке купажей, ориентированных на формирование выраженных региональных характеристик алтайских портвейнов. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение возможности использования культуры *Metschnikowia pulcherrima* для усиления и коррекции ароматического потенциала на стадии брожения.

3.2 Управлением вторичным ароматом при использовании технологии последовательного культивирования

3.2.1 Закономерности формирования вторичного ароматического профиля в виноматериалах из виноградного сырья Алтайского края

В разделе представлены результаты анализа формирования вторичного ароматического профиля в виноматериалах из исследуемых сортов винограда (Фиолетовый ранний, Загадка Шарова, Зилга, Каберне Северный, Памяти Домбковской) в процессе подбраживания с использованием чистой культуры *Saccharomyces cerevisiae* (Lallemend Cross Evolution™). Полученные данные, частично представленные в п. 3.1.2 (см. таблицы 6 и 7), в настоящем разделе рассматриваются более детально – с позиций кинетики накопления отдельных соединений и их взаимосвязи с составом исходного сусла.

Подбраживание мезги проводили в течение 5–6 сут; в ходе подбраживания в образцах контролировали концентрации основных классов вторичных ароматических соединений. На рисунке 7 представлена динамика накопления суммы сложных эфиров и высших спиртов на примере двух наиболее контрастных по ароматическому потенциалу сортов – Фиолетового раннего и Каберне Северный.

Как видно из представленных данных, наиболее интенсивное накопление сложных эфиров отмечено в середине и конце стадии активного брожения, с достижением максимума к моменту остановки подбраживания. Межсортовые различия, зафиксированные в конечных точках (таблица 8), проявляются уже на ранних этапах подбраживания. Для сорта Фиолетовый ранний характерны не только более высокие абсолютные значения накопления эфиров, но и более ранний выход на плато, что может быть связано с лучшей обеспеченностью сусла данного сорта предшественниками – азотистыми соединениями и жирными кислотами [145].

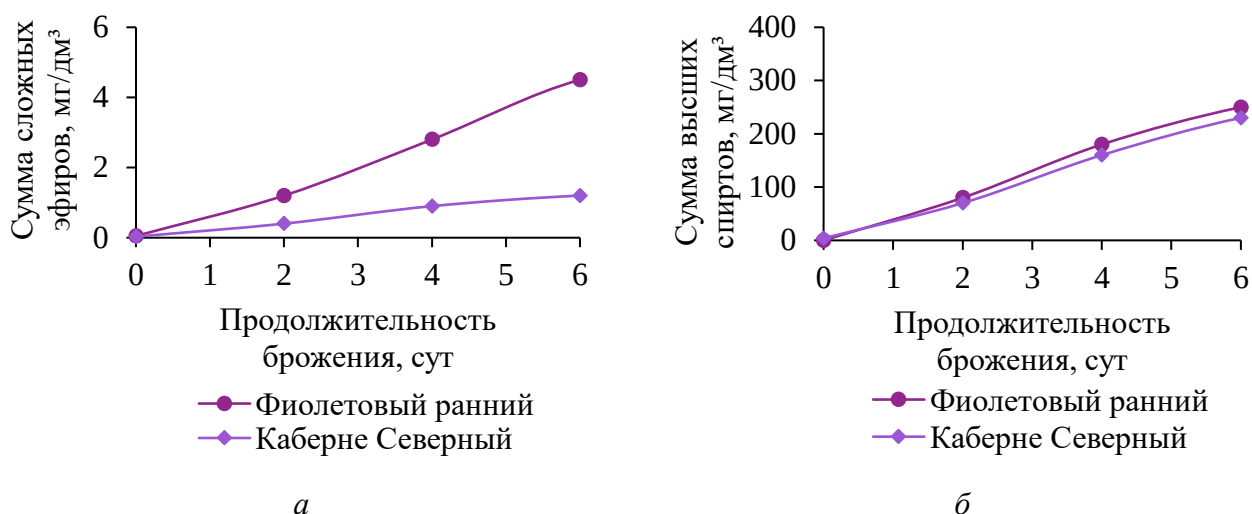


Рисунок 7 – Динамика накопления суммы сложных эфиров (а) и высших спиртов (б) в процессе ферментации

Таблица 8 – Содержание суммы сложных эфиров и высших спиртов в образцах винома- териалов по окончании подбраживания ($M \pm m$, $n = 3$)

Соединение	Содержание, мг/дм³				
	Фиолетовый ранний	Загадка Шарова	Зилга	Каберне Северный	Памяти Домбковской
Сложные эфиры					
Изоамилацетат	$2,70 \pm 0,22^a$	$1,15 \pm 0,11^c$	$1,68 \pm 0,14^b$	$0,50 \pm 0,06^d$	$0,89 \pm 0,09^c$
Этилгексаноат	$1,68 \pm 0,11^a$	$1,24 \pm 0,07^b$	$0,36 \pm 0,03^c$	$0,24 \pm 0,04^{cd}$	$0,18 \pm 0,02^d$
Этилдеcanoат	$0,87 \pm 0,08^a$	$0,34 \pm 0,03^c$	$0,56 \pm 0,04^b$	$0,11 \pm 0,01^d$	$0,37 \pm 0,04^c$
Высшие спирты					
Изоамиловый спирт	267 ± 19^b	296 ± 14^{ab}	287 ± 18^{ab}	287 ± 19^{ab}	326 ± 24^a
Изобутиловый спирт	33 ± 4^a	36 ± 8^a	38 ± 4^a	36 ± 5^a	42 ± 6^a
2-фенилэтиловый спирт	29 ± 3^{ab}	24 ± 2^b	22 ± 2^{bc}	16 ± 2^c	33 ± 4^a
Примечание – Разные строчные буквы в пределах одной строки обозначают статисти-чески значимые различия между сортами по критерию Тьюки при уровне значимости $p < 0,05$. Образцы, отмеченные одной и той же буквой, не имеют статистически значимых раз-личий между собой.					

Характер накопления высших спиртов, напротив, сходен для всех исследуе- мых сортов; конечные концентрации различаются статистически незначимо (см. таблицу 8). Полученные данные подтверждают, что образование данной группы

соединений в большей степени обусловлено штаммом дрожжей и общими условиями брожения, нежели сортовыми особенностями сырья [64].

Выявленные в п. 3.1.2 существенные различия в способности сортов к накоплению сложных эфиров (прежде всего изоамилацетата и этилгексаноата) обусловили необходимость анализа причин данных различий. Согласно современным представлениям, синтез дрожжами этиловых эфиров жирных кислот и ацетатов высших спиртов зависит от ряда факторов, среди которых основное значение имеют следующие [64; 145]:

- содержание в сусле свободных жирных кислот (особенно C_6-C_{12}), являющихся непосредственными предшественниками;
- уровень ассимилируемого азота, влияющего на метаболизм аминокислот и опосредованно на синтез ацетил-КоА;
- липидный состав сусла и, в частности, содержание стерина и ненасыщенных жирных кислот, необходимых для построения клеточных мембран и активности ферментов.

В таблице 9 представлены данные о содержании в исходном сусле исследуемых сортов предшественников, способных влиять на эфиобразование.

Таблица 9 – Показатели сусла, потенциально значимые для формирования вторичного аромата

Показатель	Значение, мг/дм ³				
	Фиолетовый ранний	Загадка Шарова	Зилга	Каберне Северный	Памяти Домбковской
Ассимилируемый азот	187 ± 12 ^a	156 ± 10 ^b	143 ± 9 ^b	98 ± 7 ^c	165 ± 11 ^{ab}
Общие липиды	324 ± 21 ^a	278 ± 18 ^b	265 ± 17 ^b	189 ± 12 ^c	291 ± 19 ^{ab}
Сумма C_6-C_{12} жирных кислот	47,3 ± 3,5 ^a	38,2 ± 2,9 ^b	35,6 ± 2,8 ^b	22,1 ± 1,8 ^c	41,5 ± 3,1 ^{ab}
Примечание – Разные строчные буквы в пределах строки обозначают статистически значимые различия между сортами по тесту Тьюки при $p < 0,05$.					

Результаты корреляционного анализа (таблица 10) показывают наличие тесной прямой связи между содержанием в сусле суммы жирных кислот C_6-C_{12} и ко-

нечной концентрацией этилгексаноата ($r = 0,89$; $p < 0,01$), а также между уровнем ассимилируемого азота и накоплением изоамилацетата ($r = 0,83$; $p < 0,01$).

Таблица 10 – Коэффициенты корреляции Пирсона между показателями суслу и накоплением ключевых эфиров

Показатель суслу	Изоамилацетат	Этилгексаноат	Этилдеcanoат
Ассимилируемый азот	0,83**	0,41	0,35
Сумма C ₆ –C ₁₂ жирных кислот	0,47	0,89**	0,78*
Общие липиды	0,52*	0,67*	0,61*
Примечание – * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.			

Эти данные складываются в объяснение сортовых различий. У Фиолетового раннего суслу богато и азотом, и жирными кислотами – эфиروобразование у него наиболее интенсивное. У Каберне Северный картина обратная: ассимилируемого азота и жирных кислот в его сусле меньше всего, что, по-видимому, и удерживает низкий потенциал к синтезу эфиров; как было отмечено выше, оба признака – следствие недостаточной физиологической зрелости плодов [110]. Загадка Шарова и Зилга занимают промежуточное положение, причем у Загадки Шаровой предшественников больше по всем позициям – что согласуется с тем, что и этилгексаноата она накапливает больше, чем Зилга. В сенсорном отношении картина сводится к трем эфирам: по расчету OAV (см. таблицу 7) именно изоамилацетат (бананово-грушевый тон), этилгексаноат (яблочно-ананасовый) и этилдеcanoат (виноградно-цветочный) определяют восприятие вторичного аромата. Их соотношение и придает фруктовости каждого сорта ее особый «оттенок». Распределение этих трех эфиров в исследуемых образцах представлено на рисунке 8.

Для сорта Фиолетовый ранний характерно сбалансированное соотношение всех трех эфиров с некоторым преобладанием этилгексаноата и изоамилацетата. Фруктовость у него выходит разнообразной: в ней соседствуют «красные», яблочные тона и «тропические», бананово-ананасовые. У Загадки Шаровой доля этилгексаноата выше при меньшем вкладе изоамилацетата, – ее фруктовость читается как более «яблочная», свежая.

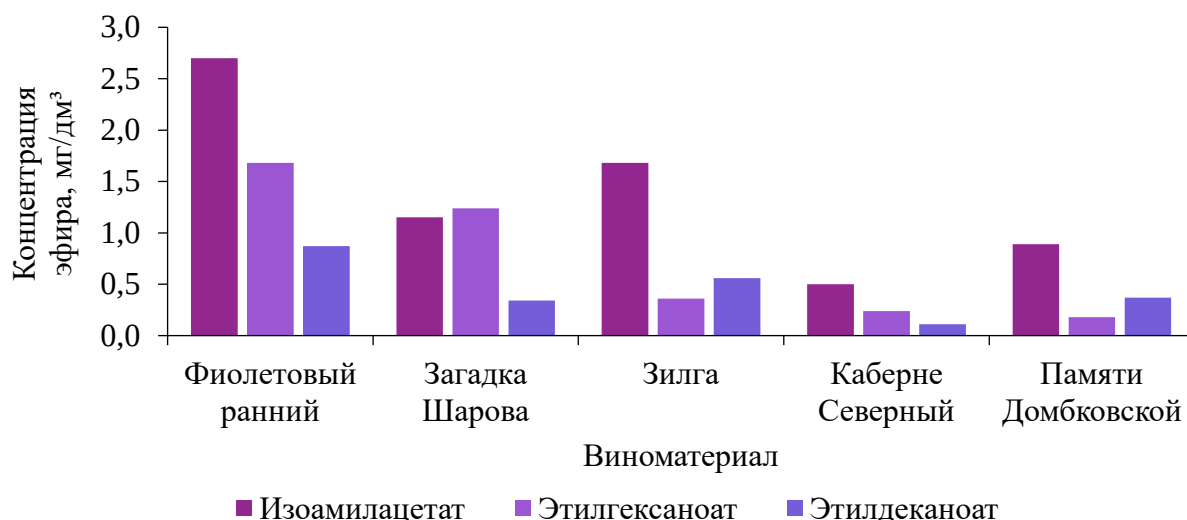


Рисунок 8 – Профиль распределения ключевых эфиров в исследуемых сортах

Способность сортов накапливать сложные эфиры при брожении имеет явную сортовую обусловленность и держится на составе исходного суслу – прежде всего на содержании ассимилируемого азота и жирных кислот C_6 – C_{12} . Коэффициенты корреляции между обеспеченностью суслу предшественниками и конечным содержанием эфиров превышают 0,8, так что потенциал сорта можно прогнозировать еще по суслу – до начала брожения.

Фиолетовый ранний имел наиболее благоприятный для эфиروобразования состав суслу: ассимилируемого азота и жирных кислот в нем больше, чем у остальных, и это реализуется в полной мере – профиль фруктовый, выраженный, с высокими значениями OAV по всем рассматриваемым эфирам. Загадка Шарова располагает хорошим, но более узким потенциалом: ее специализация – этилгексаноат, отсюда и «яблочный» оттенок фруктоности. Каберне Северный, как и следовало ожидать при минимальном содержании всех предшественников, накапливает вторичные ароматические соединения, положительно влияющие на аромат, хуже всех, – это дополнительно подтверждает его низкую пригодность для производства портвейна.

Полученные данные позволяют перейти к оценке эффективности применения культуры *Metschnikowia pulcherrima*, целью использования которой является дополнительное обогащение вторичного ароматического профиля виноматериалов.

3.2.2 Исследование влияния последовательного культивирования

Metschnikowia pulcherrima и *Saccharomyces cerevisiae* на формирование вторичного аромата виноматериалов

Результаты, представленные в пункте 3.2.1, показали, что сорта Фиолетовый ранний и Загадка Шарова обладают высоким собственным потенциалом к формированию вторичного аромата при использовании чистой культуры *Saccharomyces cerevisiae*. Вместе с тем имеющиеся данные [59; 63; 124] свидетельствуют о возможности дальнейшего обогащения ароматического профиля за счет применения на начальных этапах брожения дрожжей-несахаромицетов.

Среди множества видов дрожжей-несахаромицетов *Metschnikowia pulcherrima* выделяется рядом ценных технологических свойств, делающих ее перспективным кандидатом для использования в производстве портвейна:

- высокая β -глюкозидазная активность, способствующая высвобождению монотерпенов и C13-норизопреноидов из связанных гликозидированных форм [63; 112];
- способность к продукции тиолов – соединений, ответственных за тона тропических фруктов [88];
- потенциал к синтезу сложных эфиров, обогащающих фруктовую составляющую аромата [103];
- антагонистическая активность в отношении нежелательной микрофлоры за счет продукции пульхерриминовой кислоты [122].

Целью настоящего этапа исследований являлась оценка влияния последовательного культивирования *M. pulcherrima* и *S. cerevisiae* на формирование вторичного ароматического профиля виноматериалов из сортов Фиолетовый ранний и Загадка Шарова, отобранных как наиболее перспективные.

Эксперимент организовали по следующей схеме. Для каждого из двух сортов (Фиолетовый ранний и Загадка Шарова) проводили по три варианта брожения в трехкратной повторности:

– контроль (K): подбраживание с использованием чистой культуры *Saccharomyces cerevisiae* (Lallemend Cross Evolution™), инокуляция в соответствии с рекомендацией производителя (25 г/дал); данный вариант служил базой для сравнения (данные по нему частично представлены в пункте 3.2.1);

– опыт 1 (M1): последовательное культивирование с первоначальным внесением *Metschnikowia pulcherrima* (Lallemend Flavia®, 25 г/гл); *S. cerevisiae* вносили в той же дозе через 72 ч; данный режим (раннее внесение *S. cerevisiae*) рекомендован для предотвращения остановок брожения и обеспечения его завершения [63; 147];

– опыт 2 (M2): последовательное культивирование с увеличенной экспозицией *M. pulcherrima*; *S. cerevisiae* вносили через 96 ч после внесения *M. pulcherrima* при более глубокой степени сбраживания; данный режим позволяет в большей степени реализовать метаболический потенциал дрожжей-несахаромицетов [59; 124].

Для всех вариантов температура подбраживания составляла 22–24 °С. Перед внесением дрожжей сусло сульфитировали (50 мг/дм³). Доза для сульфитации определена как компромисс между необходимостью подавления автохтонной микрофлоры сусла и сохранением жизнеспособности культуры *M. pulcherrima*. На основании результатов исследований установлено, что содержание связанного SO₂ в сусле в момент внесения культуры *M. pulcherrima* составляло $(18,9 \pm 2,1)$ мг/дм³, что незначительно превышает допустимое для этой культуры содержание связанного SO₂ (15 мг/дм³) и не приводило к подавлению активности *M. pulcherrima*. На рисунке 9 представлена динамика численности дрожжевых популяций в опыте M1 на примере сорта Фиолетовый ранний.

Культура *M. pulcherrima* активно развивалась в течение первых 48–72 ч, достигая максимума $6\text{--}8 \cdot 10^6$ КОЕ/см³, после чего ее численность постепенно снижалась. Инокуляция *S. cerevisiae* на третьи сутки приводила к быстрому росту численности данной культуры, которая к пятым-шестым суткам достигала значений, типичных для активного брожения ($1\text{--}2 \cdot 10^7$ КОЕ/см³). К моменту остановки брожения *M. pulcherrima* практически не обнаруживалась, что согласуется с литературными данными о ее чувствительности к повышению концентрации этанола [69; 124].

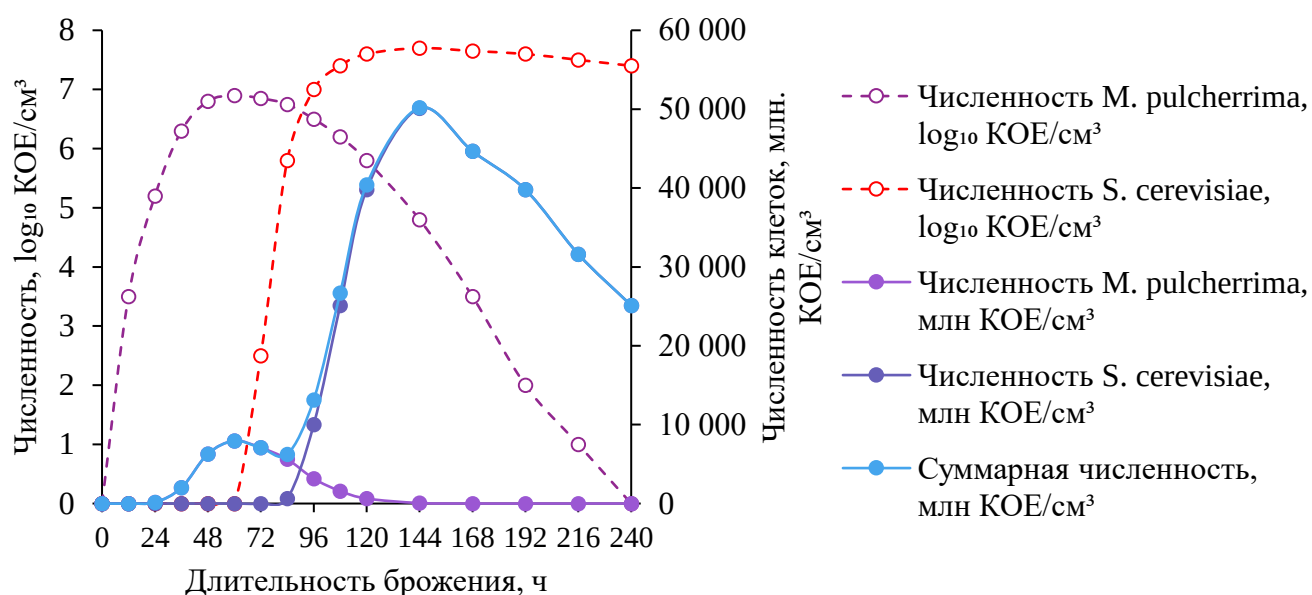


Рисунок 9 – Динамика численности дрожжевых клеток в варианте брожения М1

Основные результаты исследования влияния последовательного культивирования на состав летучих соединений в виноматериалах представлены в таблицах 11 (для сорта Фиолетовый ранний) и 12 (для сорта Загадка Шарова). Анализ проводили методом газовой хроматографии в момент остановки брожения.

Таблица 11 – Влияние режима ферментации на содержание ключевых летучих соединений в виноматериалах из сорта Фиолетовый ранний

Соединение	Содержание, мг/дм ³		
	Контроль (К)	Опыт М1 (72 ч)	Опыт М2 (96 ч)
Изоамилацетат	2,70 ± 0,22 ^b	3,12 ± 0,25 ^a	3,35 ± 0,28 ^a
Этилгексаноат	1,68 ± 0,11 ^b	1,92 ± 0,14 ^a	2,04 ± 0,15 ^a
Этилдеcanoат	0,87 ± 0,08 ^b	0,96 ± 0,09 ^{ab}	1,08 ± 0,10 ^a
2-Фенилэтилацетат	0,32 ± 0,03 ^c	0,48 ± 0,04 ^b	0,59 ± 0,05 ^a
Линалоол	0,037 ± 0,002 ^c	0,049 ± 0,003 ^b	0,058 ± 0,004 ^a
Гераниол	0,011 ± 0,001 ^c	0,016 ± 0,001 ^b	0,019 ± 0,002 ^a
Изоамиловый спирт	267 ± 19 ^a	256 ± 18 ^a	249 ± 17 ^a
2-Фенилэтиловый спирт	29 ± 3 ^b	34 ± 3 ^a	36 ± 3 ^a
Примечание – Разные строчные буквы в пределах строки обозначают статистически значимые различия между вариантами по тесту Тьюки при $p < 0,05$			

Таблица 12 – Влияние режима ферментации на содержание ключевых летучих соединений в виноматериалах из сорта Загадка Шарова

Соединение	Содержание, мг/дм ³		
	Контроль (К)	Опыт М1 (72 ч)	Опыт М2 (96 ч)
Изоамилацетат	1,15 ± 0,11 ^b	1,42 ± 0,13 ^a	1,51 ± 0,14 ^a
Этилгексаноат	1,24 ± 0,07 ^b	1,43 ± 0,09 ^a	1,49 ± 0,10 ^a
Этилдеcanoат	0,34 ± 0,03 ^b	0,41 ± 0,04 ^a	0,44 ± 0,04 ^a
2-Фенилэтилацетат	0,18 ± 0,02 ^c	0,27 ± 0,02 ^b	0,33 ± 0,03 ^a
Линалоол	0,024 ± 0,001 ^c	0,032 ± 0,002 ^b	0,038 ± 0,003 ^a
Изоамиловый спирт	296 ± 14 ^a	288 ± 15 ^a	279 ± 16 ^a
2-Фенилэтиловый спирт	24 ± 2 ^b	28 ± 2 ^a	30 ± 3 ^a
Примечание – Разные строчные буквы в пределах строки обозначают статистически значимые различия между вариантами по тесту Тьюки при $p < 0,05$.			

Как видно из таблиц 11 и 12, применение культуры *M. pulcherrima* приводит к статистически значимому увеличению содержания ключевых сложных эфиров.

Для сорта Фиолетовый ранний в варианте М2 содержание изоамилацетата увеличилось на 24 %, этилгексаноата – на 21 %, этилдеcanoата – на 24 % по сравнению с контролем. Для сорта Загадка Шарова эффект также значим: изоамилацетат вырос на 31 %, этилгексаноат – на 20 %. Полученные данные согласуются с результатами исследований L. Lopez-Enriquez и др. [103] и X. Ge и др. [88], также отмечавших увеличение эфиров при использовании *M. pulcherrima*.

Наблюдается значимое увеличение содержания 2-фенилэтилацетата (цветочно-медовый тон) – в 1,8 раза для Фиолетового раннего и в 1,8 раза для Загадки Шарова в варианте М2. Это, вероятно, связано с более активным метаболизмом фенилаланина дрожжами *M. pulcherrima* и последующей этерификацией [112].

Отмечено увеличение содержания свободных терпенов (линалоола, гераниола) – в 1,6 раза для Фиолетового раннего и в 1,6 раза для Загадки Шарова в варианте М2. Это подтверждает наличие у *M. pulcherrima* активной β-глюкозидазы, высвобождающей терпены из связанных гликозидированных форм [63; 124]. Для сорта Фиолетовый ранний, исходно богатого терпенами, это приводит к дополнительному усилению его уникального цветочно-мускатного профиля.

Содержание 2-фенилэтилового спирта также значительно увеличивается (на 24 % для Фиолетового раннего и на 25 % для Загадки Шарова), что дополнительно обогащает цветочную составляющую аромата.

Содержание высших спиртов (изоамилового, изобутилового) изменяется незначительно и в целом остается в типичных для вин диапазонах, что важно, так как избыток этих соединений может негативно влиять на аромат. Наблюдается даже тенденция к небольшому снижению их концентрации, что может быть связано с меньшей продукцией сивушных спиртов *M. pulcherrima* [69].

Более длительная экспозиция *M. pulcherrima* (вариант М2, 96 ч) в целом дает больший эффект, чем вариант М1 (72 ч). Это указывает на важность достаточного времени для реализации метаболического потенциала дрожжей-несахаромицетов до того, как *S. cerevisiae* станет доминировать в популяции. Однако необходимо учитывать риск замедления основного брожения при слишком длительной задержке инокуляции *S. cerevisiae* [59; 147].

Для оценки влияния выявленных химических изменений на органолептическое восприятие был проведен дескрипторный анализ образцов (таблица 13). Оценку проводила группа из 11 оценщиков по пятибалльной шкале (0 – не ощущается, 5 – максимальная интенсивность).

Таблица 13 – Результаты дескрипторного анализа аромата виноматериалов из сорта Фиолетовый ранний

Дескриптор	Контроль (К)	Опыт М1 (72 ч)	Опыт М2 (96 ч)
Фруктовый (общий)	$3,8 \pm 0,3^b$	$4,3 \pm 0,3^a$	$4,5 \pm 0,3^a$
Цветочный	$2,9 \pm 0,3^c$	$3,6 \pm 0,3^b$	$4,1 \pm 0,3^a$
Общая интенсивность	$3,9 \pm 0,3^b$	$4,4 \pm 0,3^a$	$4,6 \pm 0,3^a$
Гармоничность	$3,7 \pm 0,3^b$	$4,2 \pm 0,3^a$	$4,3 \pm 0,3^a$
Примечание – Разные строчные буквы в пределах строки обозначают статистически значимые различия между вариантами по тесту Тьюки при $p < 0,05$.			

Полученные сенсорные данные согласуются с химическими (см. таблицу 11). Варианты с применением *M. pulcherrima* оценивались дегустаторами как более интенсивные по общей фруктовости и цветочности, что может быть связано с увели-

чением содержания эфиров. Кроме того, данные варианты характеризовались большей гармоничностью, что указывает на сбалансированность усиленных ароматических компонентов и отсутствие резких, диссонирующих тонов.

Вариант М2, характеризующийся более продолжительной экспозицией *M. pulcherrima*, в целом получил несколько более высокие оценки, чем М1, особенно по таким дескрипторам, как «банановый», «тропический» и «мускатный».

Для сорта Загадка Шарова получены аналогичные, хотя и менее выраженные, тенденции: усиление общей фруктовости, появление легких тропических оттенков, повышение гармоничности.

По совокупности полученных данных можно сделать следующие выводы. Применение *M. pulcherrima* в сочетании с *S. cerevisiae* следует признать эффективным биотехнологическим приемом: во всех опытных вариантах ароматический профиль виноматериалов, предназначенных для производства портвейна, достоверно обогащался по сравнению с контролем (чистая культура *S. cerevisiae*).

Действие *M. pulcherrima* проявляется прежде всего в увеличении содержания сложных эфиров – изоамилацетата, этилгексаноата, этилдеcanoата, 2-фенилэтилацетата, – и в высвобождении связанных форм терпенов (линалоола, гераниола). Последнее обстоятельство, по-видимому, свидетельствует о наличии у данного вида дрожжей β -глюкозидазной активности. Не менее важно и то, что величина эффекта зависит от продолжительности экспозиции: при отсроченной до 96 ч инокуляции *S. cerevisiae* (вариант М2) прирост целевых ароматических соединений оказывался более значимым, чем при инокуляции через 72 ч (М1), хотя оба опытных варианта достоверно превосходили контроль.

Сенсорная оценка подтвердила химические данные: в виноматериалах, полученных с применением *M. pulcherrima*, отмечены более высокая общая интенсивность аромата, усиление фруктовых и цветочных тонов, появление оттенков тропических фруктов и более высокая гармоничность. Лучше всего культура *M. pulcherrima* проявила себя на сорте Фиолетовый ранний – на том, чей исходный терпеновый потенциал выше остальных. Это наводит на мысль, что здесь действует не просто сумма вкладов, а их согласование: сортовые предшественники и фермен-

тативный аппарат дрожжей дополняют друг друга. В пользу приема говорят оба ряда данных – и химический, и сенсорный.

Отсюда практическое решение: за основу дальнейшей отработки режимов производства портвейна берутся виноматериалы последовательного брожения с экспозицией *M. pulcherrima* 72–96 ч. Интервал задан сознательно широким: его границы предстоит уточнять по сырью и по задаче – для одних сортов достаточно 72 ч, для других – оправданы 96 ч.

3.3 Оптимизация процесса портвейнизации с применением микрооксигенации для формирования третичного аромата

Как было показано в аналитическом обзоре (пункт 1.3.3), стадия спиртования и выдержки является определяющей для формирования третичного аромата и характерного стиля портвейна. Для красных портвейнов Ruby, ориентированных на сохранение выраженной фруктовости, задача заключается не в достижении глубокого окисленного тона (как для портвейнов Tawny), а в стабилизации цвета, смягчении танинов и придании вину сложности и гармоничности без потери сортового характера [72; 89].

Наиболее контролируемым способом управления данными процессами является микрооксигенация [126; 127]. В настоящем разделе представлены результаты исследования влияния различных режимов микрооксигенации на динамику фенольных соединений (прежде всего антоцианов), оптические характеристики и формирование третичного аромата при производстве портвейна из виноматериалов сорта Фиолетовый ранний, отобранного в качестве наиболее перспективного.

Объектом исследования служил крепленый виноматериал из винограда сорта Фиолетовый ранний урожая 2023 г., полученный по разработанной технологии с применением последовательной ферментации с *M. pulcherrima* (режим M2). Ха-

рактеристики исходного виноматериала перед портвейнизацией представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Физико-химические показатели крепленого виноматериала из сорта Фиолетовый ранний перед портвейнизацией

Показатель	Значение
Объемная доля этилового спирта, %	$18,6 \pm 0,3$
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	$84,0 \pm 2,3$
pH	$3,58 \pm 0,03$
Титруемая кислотность, г/дм ³	$5,6 \pm 0,2$
Массовая концентрация свободного SO ₂ , мг/дм ³	$20,6 \pm 1,9$
Массовая концентрация антоцианов, мг/дм ³	184 ± 5
Интенсивность цвета ($D_{420} + D_{520} + D_{620}$)	$8,7 \pm 0,3$

Эксперимент по изучению влияния микрооксигенации был организован по многофакторной схеме. Виноматериал разделяли на 16 вариантов (таблица 15), которые выдерживали в герметичных стеклянных сосудах объемом 6 дм³ (соотношение диаметра и высоты 1:4) в термостатируемых условиях при постоянном контроле параметров [37].

Таблица 15 – План многофакторного эксперимента по изучению процесса портвейнизации крепленого виноматериала из сорта Фиолетовый ранний

Изучаемый фактор	Уровни варьирования
Температура портвейнизации, °C	20; 40; 50; 60
Дозировка дубовой щепы, г/дм ³	0; 2
Дозировка кислорода, (мг O ₂ /дм ³)/мес.	0; 4

В нижней части стеклянного корпуса была установлена керамическая фритта для эффективного диспергирования дозируемого микрооксигенатором кислорода (Enartis, Win-IQ, Италия). Для контроля количества растворенного кислорода в емкость устанавливали датчик оксиметра. Дозирование кислорода в образцы осу-

ществляли каждые 4 недели. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 10.

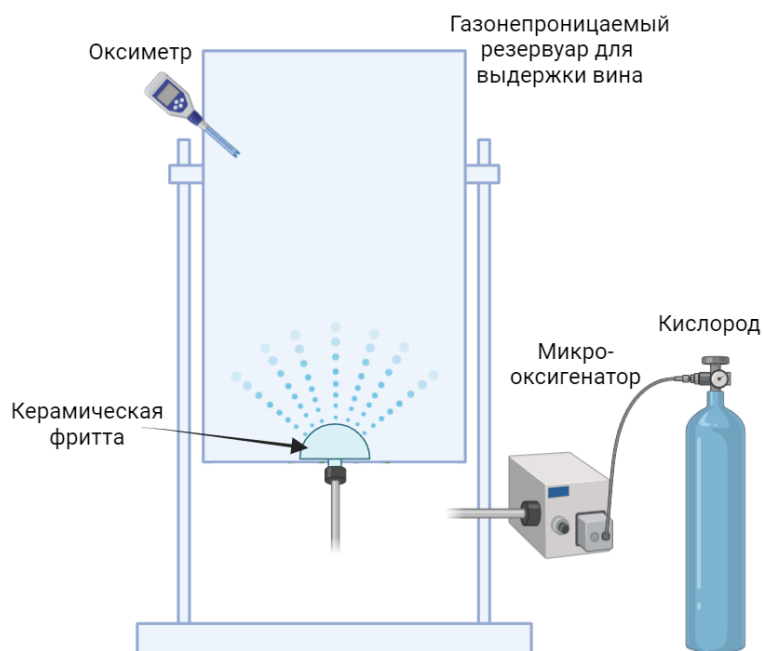


Рисунок 10 – Принципиальная схема экспериментальной установки для микрооксигенации виноматериалов

Пробы анализировали еженедельно. Дубовую щепу (слабая обжарка, производитель ООО «Виномакс», Россия) вносили из расчета 2 г/дм³ в соответствующие варианты в начале эксперимента.

3.3.1 Влияние микрооксигенации на динамику ароматических соединений при портвейнизации

Формирование третичного аромата портвейна в процессе выдержки связано с глубокими химическими трансформациями, в результате которых образуются соединения, придающие вину характерные тона сухофруктов, орехов, карамели, шоколада и пряностей [50; 125]. В этих процессах основное значение имеют реакции

окисления, реакции Майяра и карамелизации, а также медленная этерификация и ацетализация [65; 118; 138].

Микрооксигенация, обеспечивая контролируемое поступление кислорода, позволяет направленно регулировать интенсивность этих процессов, что особенно важно при производстве портвейнов из нетрадиционных сортов, исходный ароматический потенциал которых может существенно отличаться от классического [89; 126].

На основе анализа литературных данных [50; 119; 118; 139; 138] для мониторинга в процессе портвейнизации были выбраны следующие группы соединений, признанные ключевыми маркерами эволюции портвейнов:

- фурановые альдегиды – маркеры термической обработки и реакции Майяра: фурфурол (миндальный, карамельный тон); 5-метилфурфурол (пряный, карамельный); 5-гидроксиметилфурфурол (ГМФ, цветочный, медовый, тон жженого сахара) [77; 83; 118];

- лактоны – ключевые одоранты выдержанных портвейнов: сотолон (3-гидрокси-4,5-диметил-2(5H)-фуранон) – ключевой маркер «окисленного возраста», ореховый, пряный, жженный сахар [138]; виски-лактоны (β -метил- γ -окталактон) – тона кокоса, древесины, ванили (экстрагируются из дуба) [96; 144; 151];

- ацетали – продукты взаимодействия спиртов и альдегидов: 1,1-диэтоксиэтан (ацетальдегиддиэтилацеталь) – фруктовый, ореховый, тон зеленого яблока [117; 148; 152; 153];

- фенольные альдегиды – продукты деградации лигнина (из дуба): ванилин; сиреневый альдегид; конифериловый альдегид [66; 67; 105];

- норизопреноиды: β -дамасценон (мониторинг его трансформации в процессе выдержки).

В соответствии с планом эксперимента, в образцах, отобранных в процессе портвейнизации, было определено содержание ключевых соединений, являющихся маркерами формирования третичного аромата. Динамика накопления фурановых соединений в исследуемых образцах представлена в таблице 16 и на рисунке 11.

Таблица 16 – Динамика содержания фурановых альдегидов в процессе портвейнизации, мкг/дм³

Вариант	Соединение	Продолжительность микрооксигенации, мес.						
		0	1	2	3	4	5	6
K20	Фурфурол	12,3 ± 1,1	13,1 ± 1,2	13,8 ± 1,3	14,5 ± 1,3	15,2 ± 1,4	15,9 ± 1,5	16,7 ± 1,5
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	4,5 ± 0,4	4,8 ± 0,4	5,1 ± 0,5	5,4 ± 0,5	5,7 ± 0,5	6,0 ± 0,6
	ГМФ	87,3 ± 5,2	91,4 ± 5,5	95,6 ± 5,7	99,8 ± 6,0	104,2 ± 6,3	108,7 ± 6,5	113,5 ± 6,8
K20Щ	Фурфурол	12,3 ± 1,1	15,8 ± 1,4	18,9 ± 1,7	21,7 ± 2,0	24,2 ± 2,2	26,5 ± 2,4	28,6 ± 2,6
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	5,3 ± 0,5	6,4 ± 0,6	7,4 ± 0,7	8,3 ± 0,8	9,1 ± 0,9	9,8 ± 0,9
	ГМФ	87,3 ± 5,2	102,6 ± 6,2	116,4 ± 7,0	128,9 ± 7,7	140,3 ± 8,4	150,8 ± 9,0	160,5 ± 9,6
M20-4	Фурфурол	12,3 ± 1,1	18,7 ± 1,7	24,3 ± 2,2	29,2 ± 2,6	33,6 ± 3,0	37,5 ± 3,4	41,1 ± 3,7
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	6,4 ± 0,6	8,5 ± 0,8	10,4 ± 0,9	12,1 ± 1,1	13,7 ± 1,2	15,2 ± 1,4
	ГМФ	87,3 ± 5,2	121,5 ± 7,3	152,4 ± 9,1	180,2 ± 10,8	205,6 ± 12,3	229,0 ± 13,7	250,8 ± 15,0
M20-6	Фурфурол	12,3 ± 1,1	20,4 ± 1,8	27,8 ± 2,5	34,3 ± 3,1	40,1 ± 3,6	45,4 ± 4,1	50,3 ± 4,5
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	7,0 ± 0,6	9,6 ± 0,9	12,0 ± 1,1	14,2 ± 1,3	16,2 ± 1,5	18,1 ± 1,6
	ГМФ	87,3 ± 5,2	131,7 ± 7,9	171,4 ± 10,3	206,8 ± 12,4	238,9 ± 14,3	268,3 ± 16,1	295,6 ± 17,7
M40-4	Фурфурол	12,3 ± 1,1	29,6 ± 2,7	48,3 ± 4,3	67,5 ± 6,1	86,8 ± 7,8	105,9 ± 9,5	124,7 ± 11,2
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	9,8 ± 0,9	16,2 ± 1,5	22,9 ± 2,1	29,7 ± 2,7	36,5 ± 3,3	43,3 ± 3,9
	ГМФ	87,3 ± 5,2	187,4 ± 11,2	298,5 ± 17,9	409,3 ± 24,6	517,8 ± 31,1	623,6 ± 37,4	726,4 ± 43,6
M50-4	Фурфурол	12,3 ± 1,1	47,2 ± 4,2	84,6 ± 7,6	121,5 ± 10,9	157,2 ± 14,1	191,4 ± 17,2	224,1 ± 20,2
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	15,4 ± 1,4	28,5 ± 2,6	41,8 ± 3,8	55,0 ± 5,0	68,0 ± 6,1	80,6 ± 7,3
	ГМФ	87,3 ± 5,2	284,6 ± 17,1	498,3 ± 29,9	704,2 ± 42,3	899,5 ± 54,0	1084 ± 65	1258 ± 75
M60-4	Фурфурол	12,3 ± 1,1	74,5 ± 6,7	142,8 ± 12,9	210,4 ± 18,9	275,3 ± 24,8	337,2 ± 30,3	396,1 ± 35,6
	5-метилфурфурол	4,2 ± 0,4	24,3 ± 2,2	48,6 ± 4,4	73,5 ± 6,6	98,1 ± 8,8	122,0 ± 11,0	145,3 ± 13,1
	ГМФ	87,3 ± 5,2	432,8 ± 26,0	816,5 ± 49,0	1174 ± 70	1506 ± 90	1815 ± 109	2102 ± 126

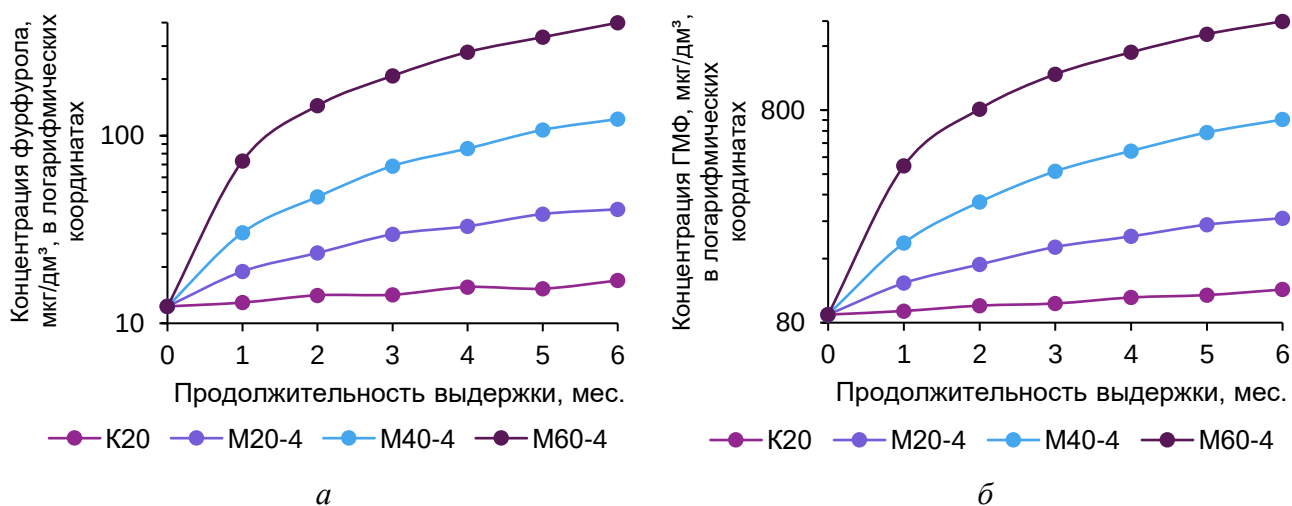


Рисунок 11 – Динамика накопления фурфурола (а) и ГМФ (б) в процессе портвейнизации

По совокупности полученных данных можно сделать следующие выводы:

- накопление фурановых альдегидов носит, по-видимому, линейный или степенной характер, при этом скорость накопления значительно зависит от температуры выдержки и режима микрооксигенации. В анаэробных условиях (K20) рост минимален; добавление дубовой щепы (K20Щ) увеличивает скорость примерно в 1,5–2 раза. Микрооксигенация при 20 °C (M20-4, M20-6) дает дополнительное ускорение в 2–3 раза по сравнению с K20Щ.

- основным фактором является температура: при 40 °C (M40-4) содержание фурфурола через 6 мес. в 3 раза выше, чем при 20 °C с той же дозой кислорода (M20-4), при 50 °C – в 5,5 раза, при 60 °C – почти в 10 раз. Это согласуется с данными С. М. Oliveira и др. [118] и С. С. Castro и др. [65], отмечавших экспоненциальную зависимость образования фуранов от температуры.

- ГМФ образуется в значительно больших количествах, чем фурфурол и 5-метилфурфурол (примерно на порядок выше), что характерно для вин, богатых остаточными сахарами [70];

- увеличение дозы кислорода с 4 до 6 mg/dm^3 в месяц при 20 °C дает прирост содержания фуранов примерно на 20–25 % (сравнение M20-4 и M20-6 через 6 мес.), что указывает на целесообразность использования более высоких доз лишь при необходимости форсированного созревания.

Сотолон (3-гидрокси-4,5-диметил-2(5H)-фуранон) рассматривается в качестве одного из основных маркеров окислительной выдержки портвейнов, ответственного за формирование характерных ореховых, пряных тонов с оттенками жженого сахара [62; 138]. Динамика его накопления представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Динамика содержания сотолона в процессе портвейнизации, мкг/дм³

Вариант	Продолжительность портвейнизации, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
K20	2,1 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,7 ± 0,2	2,9 ± 0,3	3,1 ± 0,3	3,3 ± 0,3
K20Щ	2,1 ± 0,2	2,8 ± 0,3	3,5 ± 0,3	4,2 ± 0,4	4,9 ± 0,4	5,6 ± 0,5	6,3 ± 0,6
M20-4	2,1 ± 0,2	4,6 ± 0,4	7,2 ± 0,6	9,8 ± 0,9	12,4 ± 1,1	15,0 ± 1,4	17,6 ± 1,6
M20-6	2,1 ± 0,2	5,4 ± 0,5	8,9 ± 0,8	12,5 ± 1,1	16,1 ± 1,4	19,8 ± 1,8	23,5 ± 2,1
M40-4	2,1 ± 0,2	12,8 ± 1,2	26,4 ± 2,4	41,3 ± 3,7	56,8 ± 5,1	72,6 ± 6,5	88,4 ± 8,0
M50-4	2,1 ± 0,2	24,6 ± 2,2	51,8 ± 4,7	80,4 ± 7,2	109,5 ± 9,9	138,7 ± 12,5	167,8 ± 15,1
M60-4	2,1 ± 0,2	41,3 ± 3,7	88,7 ± 8,0	138,5 ± 12,5	188,4 ± 17,0	237,6 ± 21,4	285,9 ± 25,7

Как видно из представленных данных, накопление сотолона наиболее существенно зависит от условий выдержки по сравнению с другими исследованными соединениями. В анаэробных условиях (K20) его содержание за 6 мес. увеличивается всего в 1,6 раза. Добавление дубовой щепы (K20Щ) дает рост в 3 раза, что может быть связано с наличием в древесине предшественников или катализаторов его образования. Микрооксигенация резко ускоряет накопление сотолона: при 20 °C и дозе 4 мкг/дм³ в месяц (M20-4) содержание сотолона через 6 мес. достигает 17,6 мкг/дм³, что в 5,3 раза выше, чем в анаэробном контроле с щепой (K20Щ). Увеличение дозы до 6 мкг/дм³ в месяц дает дополнительный рост до 23,5 мкг/дм³ (в 7,1 раза выше контроля). Температурный эффект для сотолона еще более выражен, чем для фуранов. При 40 °C (M40-4) содержание сотолона через 6 мес. составляет 88,4 мкг/дм³ (в 14 раз выше K20), при 50 °C – 167,8 мкг/дм³ (26,6 раза), при 60 °C – 285,9 мкг/дм³ (45,4 раза). Это подтверждает вывод А. С. Silva Ferreira и др. [138] о том, что сотолон является наиболее чувствительным маркером термического и окислительного старения.

Порог восприятия сотолон в вине оценивается в диапазоне от 5 до 20 мкг/дм³ в зависимости от матрицы [99; 138]. Следовательно, уже через 2 мес. выдержки при 20 °С с микрооксигенацией (М20-4, 7,2 мкг/дм³) сотолон достигает уровня, способного влиять на аромат. При 40 °С и выше его концентрация быстро превышает порог в десятки раз, что будет формировать ярко выраженный «окисленный» профиль.

Ацетали, в частности 1,1-диэтоксигетан, образуются при выдержке в результате реакции между ацетальдегидом и этанолом и считаются важными компонентами аромата выдержанных вин, придающими фруктовые, ореховые тона [139]. Динамика его содержания представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Динамика содержания 1,1-диэтоксигетана в процессе портвейнизации, мг/дм³

Вариант	Продолжительность портвейнизации, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
К20	0,87 ± 0,07	0,92 ± 0,07	0,97 ± 0,08	1,02 ± 0,08	1,07 ± 0,09	1,12 ± 0,09	1,17 ± 0,09
К20Щ	0,87 ± 0,07	1,04 ± 0,08	1,21 ± 0,10	1,38 ± 0,11	1,55 ± 0,12	1,72 ± 0,14	1,89 ± 0,15
М20-4	0,87 ± 0,07	1,38 ± 0,11	1,92 ± 0,15	2,47 ± 0,20	3,02 ± 0,24	3,57 ± 0,29	4,12 ± 0,33
М20-6	0,87 ± 0,07	1,56 ± 0,12	2,28 ± 0,18	3,01 ± 0,24	3,74 ± 0,30	4,47 ± 0,36	5,20 ± 0,42
М40-4	0,87 ± 0,07	2,43 ± 0,19	4,18 ± 0,33	5,94 ± 0,48	7,69 ± 0,62	9,43 ± 0,75	11,16 ± 0,89
М50-4	0,87 ± 0,07	3,67 ± 0,29	6,84 ± 0,55	10,02 ± 0,80	13,18 ± 1,05	16,32 ± 1,31	19,45 ± 1,56
М60-4	0,87 ± 0,07	5,12 ± 0,41	10,08 ± 0,81	15,14 ± 1,21	20,16 ± 1,61	25,11 ± 2,01	30,02 ± 2,40

Накопление ацеталей также сильно зависит от условий выдержки. Максимальные концентрации (30 мг/дм³ при 60 °С) более чем в 25 раз превышают исходные, что будет существенно влиять на органолептический профиль.

β-Дамасценон – ключевой норизопреноид, вносящий значительный вклад в ягодно-цветочную ароматику красных вин. В процессе выдержки его динамика может быть сложной: возможно как высвобождение из связанных форм, так и деградация [86]. Данные о динамике β-дамасцена в процессе портвейнизации представлены в таблице 19.

Как можно видеть, динамика β-дамасцена носит немонотонный характер. При умеренных режимах (20 °С, микрооксигенация) наблюдается небольшое увеличение (до 2,58–2,64 мкг/дм³) за счет высвобождения из гликозидированных форм,

затем стабилизация. При высоких температурах (50–60 °С) после начального подъема начинается деградация, и к 6 месяцам содержание падает ниже исходного (1,96 и 1,62 мкг/дм³ соответственно). Это важно учитывать при выборе режимов портвейнизации: чрезмерно жесткие условия приводят к потере сортовых характеристик.

Таблица 19 – Динамика содержания β-дамасцена в процессе портвейнизации, мкг/дм³

Вариант	Продолжительность портвейнизации						
	0	1	2	3	4	5	6
K20	2,27 ± 0,16	2,31 ± 0,16	2,34 ± 0,16	2,36 ± 0,17	2,38 ± 0,17	2,39 ± 0,17	2,40 ± 0,17
K20Щ	2,27 ± 0,16	2,35 ± 0,16	2,41 ± 0,17	2,46 ± 0,17	2,50 ± 0,18	2,53 ± 0,18	2,55 ± 0,18
M20-4	2,27 ± 0,16	2,42 ± 0,17	2,51 ± 0,18	2,56 ± 0,18	2,58 ± 0,18	2,57 ± 0,18	2,54 ± 0,18
M20-6	2,27 ± 0,16	2,48 ± 0,17	2,58 ± 0,18	2,63 ± 0,18	2,64 ± 0,18	2,61 ± 0,18	2,56 ± 0,18
M40-4	2,27 ± 0,16	2,51 ± 0,18	2,62 ± 0,18	2,65 ± 0,19	2,60 ± 0,18	2,48 ± 0,17	2,31 ± 0,16
M50-4	2,27 ± 0,16	2,58 ± 0,18	2,68 ± 0,19	2,63 ± 0,18	2,47 ± 0,17	2,24 ± 0,16	1,96 ± 0,14
M60-4	2,27 ± 0,16	2,63 ± 0,18	2,71 ± 0,19	2,56 ± 0,18	2,31 ± 0,16	1,98 ± 0,14	1,62 ± 0,11

Содержание ванилина и других фенольных альдегидов в вариантах с дубовой щепой ожидаемо увеличивалось в процессе выдержки (таблица 20). Микрооксигенация усиливала экстракцию, вероятно, за счет улучшения массообмена.

Таблица 20 – Динамика содержания ванилина в процессе портвейнизации (варианты с дубовой щепой), мкг/дм³

Вариант	Продолжительность портвейнизации, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
K20Щ	0	24,3 ± 2,2	41,7 ± 3,8	55,8 ± 5,0	67,6 ± 6,1	77,8 ± 7,0	86,5 ± 7,8
M20-4	0	31,5 ± 2,8	56,2 ± 5,1	76,8 ± 6,9	94,3 ± 8,5	109,7 ± 9,9	123,4 ± 11,1
M40-4	0	42,8 ± 3,9	78,4 ± 7,1	108,6 ± 9,8	134,7 ± 12,1	157,9 ± 14,2	178,6 ± 16,1
M50-4	0	51,6 ± 4,6	96,3 ± 8,7	135,2 ± 12,2	169,4 ± 15,2	199,8 ± 18,0	227,3 ± 20,5
M60-4	0	58,4 ± 5,3	110,5 ± 9,9	156,8 ± 14,1	197,5 ± 17,8	233,6 ± 21,0	265,8 ± 23,9

Проведенный корреляционный анализ (таблица 21) выявил высокие положительные связи между накоплением различных маркеров третичного аромата, что указывает на общность механизмов их образования.

Таблица 21 – Коэффициенты корреляции Пирсона между динамикой различных маркеров третичного аромата (по всем вариантам и временным точкам)

	Фурфурол	ГМФ	Сотолон	Ацетали	Ванилин	β-Дамасценон
Фурфурол	1,00	0,97	0,94	0,91	0,86	–0,42
ГМФ		1,00	0,92	0,88	0,83	–0,38
Сотолон			1,00	0,89	0,84	–0,51
Ацетали				1,00	0,79	–0,44
Ванилин					1,00	–0,29
β-Дамасценон						1,00

Особенно тесная связь отмечена между сотолоном и фурфуролом ($r = 0,94$), а также между сотолоном и ацеталами ($r = 0,89$). Отрицательная корреляция β-дамасцена с маркерами окисления (от $-0,29$ до $-0,51$) подтверждает, что процессы, ведущие к образованию третичного аромата, сопровождаются деградацией исходных сортовых соединений, что необходимо учитывать при оптимизации режимов. Накопление всех трех групп маркеров третичного аромата – фурановых альдегидов, сотолона и ацеталей – подчиняется общим кинетическим закономерностям и управляется двумя факторами: температурой и режимом микрооксигенации. Это указывает на необходимость выбора режимов, балансирующих между развитием третичного аромата и сохранением сортовых характеристик.

3.3.2 Влияние микрооксигенации на динамику антоцианов и цветовые характеристики

Исследование влияния микрооксигенации на динамику антоцианов и цветовые характеристики осуществляли в контролируемых условиях согласно протоколу, представленному на рисунке 12.

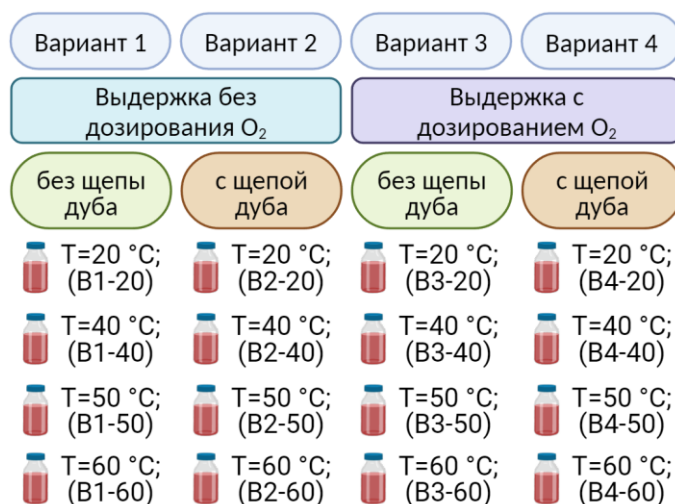


Рисунок 12 – Графическая аннотация протокола исследования

Основные результаты исследования динамики содержания антоцианов в процессе портвейнизации представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Динамика содержания антоцианов (мг/дм³, в пересчете на мальвидин-3,5-дигликозид) в процессе портвейнизации

Вариант опыта	Длительность портвейнизации, недели									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B1-20	184 ± 3	183 ± 3	182 ± 2	181 ± 3	180 ± 2	179 ± 4	178 ± 2	177 ± 2	176 ± 3	175 ± 3
B1-40	184 ± 3	181 ± 2	179 ± 2	176 ± 2	173 ± 3	170 ± 3	167 ± 2	165 ± 4	163 ± 2	162 ± 2
B1-50	184 ± 3	180 ± 3	174 ± 3	170 ± 5	164 ± 4	159 ± 2	155 ± 3	151 ± 4	146 ± 3	142 ± 2
B1-60	184 ± 2	178 ± 3	167 ± 2	160 ± 4	153 ± 2	147 ± 3	143 ± 2	139 ± 3	135 ± 2	130 ± 3
B2-20	184 ± 2	183 ± 3	181 ± 2	180 ± 3	180 ± 3	178 ± 3	177 ± 1	177 ± 2	175 ± 3	173 ± 1
B2-40	184 ± 1	180 ± 2	176 ± 2	174 ± 3	172 ± 2	169 ± 3	166 ± 1	164 ± 3	161 ± 3	157 ± 2
B2-50	184 ± 3	178 ± 2	172 ± 3	168 ± 3	162 ± 2	157 ± 4	152 ± 2	148 ± 3	142 ± 2	135 ± 2
B2-60	184 ± 1	175 ± 2	168 ± 3	161 ± 1	156 ± 2	144 ± 4	138 ± 4	129 ± 3	123 ± 2	120 ± 2
B3-20	185 ± 2	183 ± 2	181 ± 2	180 ± 2	179 ± 3	177 ± 3	176 ± 2	175 ± 2	174 ± 2	171 ± 3
B3-40	185 ± 1	181 ± 3	178 ± 3	173 ± 2	169 ± 3	166 ± 3	162 ± 2	157 ± 1	154 ± 2	152 ± 4
B3-50	185 ± 1	180 ± 3	175 ± 3	169 ± 3	162 ± 1	158 ± 2	152 ± 1	146 ± 2	140 ± 2	133 ± 3
B3-60	185 ± 2	179 ± 3	172 ± 1	165 ± 2	157 ± 3	149 ± 2	142 ± 2	133 ± 2	122 ± 2	114 ± 2
B4-20	185 ± 2	181 ± 1	180 ± 3	179 ± 3	177 ± 2	176 ± 1	174 ± 2	172 ± 1	170 ± 1	169 ± 2
B4-40	185 ± 1	178 ± 3	177 ± 2	174 ± 2	169 ± 2	163 ± 3	158 ± 2	153 ± 3	149 ± 2	146 ± 3
B4-50	185 ± 2	176 ± 2	172 ± 2	166 ± 2	159 ± 2	151 ± 2	146 ± 2	138 ± 2	131 ± 2	124 ± 1
B4-60	185 ± 2	173 ± 3	158 ± 2	152 ± 3	143 ± 1	137 ± 3	127 ± 3	117 ± 3	113 ± 1	110 ± 2

Можно видеть, что портвейнизация при повышенной температуре способствует деградации антоцианов, которая, как отмечается в работе [138], может происходить по двум механизмам: 1) в результате гидролиза 3-гликозидной связи с образованием лабильного агликона и 2) в результате гидролитического раскрытия пириллиевого кольца с образованием замещенного халкона, который затем разрушается до коричневых нерастворимых фенольных соединений.

В результате четырехфакторного дисперсионного анализа установлено, что наибольшей силой влияния на деградацию антоцианов при портвейнизации оказывают температура процесса (сила влияния фактора 58,1 %, $p < 0,01$), длительность портвейнизации (сила влияния фактора 27,0 %, $p < 0,01$), дозировка дубовой щепы (сила влияния фактора 4,1 %, $p < 0,01$), дозировка кислорода (сила влияния фактора 5,2 %, $p < 0,01$), а также совместное влияние факторов «температура $\times$ длительность портвейнизации» (сила влияния фактора 2,4 %, $p < 0,01$).

Иные возможные совместные взаимодействия изучаемых факторов в сумме имеют силу влияния не более 3,2 % ($p < 0,01$). Отсутствие значимого совместного влияния всех четырех изучаемых факторов (сила влияния 0,05 %, $p < 0,01$) на процесс деградации антоцианов с методологической точки зрения может свидетельствовать о хорошей контролируемости эксперимента и возможности прогнозирования результатов. Верность высказанного предположения о контролируемости эксперимента подтверждается распределением остатков данных после снятия всех эффектов главных факторов и их взаимодействий близким к нормальному без явно выраженного эксцесса (критерий Шапиро – Уилка $W = 0,99209$, $p = 0,00029$) (рисунок 13).

В работах [55; 107] установлено, что потери свободных антоцианов при выдержке красных портвейнов подчиняются кинетике первого порядка. На основании экспериментальных данных было определен период полупревращения ($t_{1/2}$) и рассчитаны индивидуальные скорости реакции разрушения антоцианов виноматериалов (k) в условиях опыта, используя соотношение $t_{1/2} = \ln(2) / k$ [107] (таблица 23).

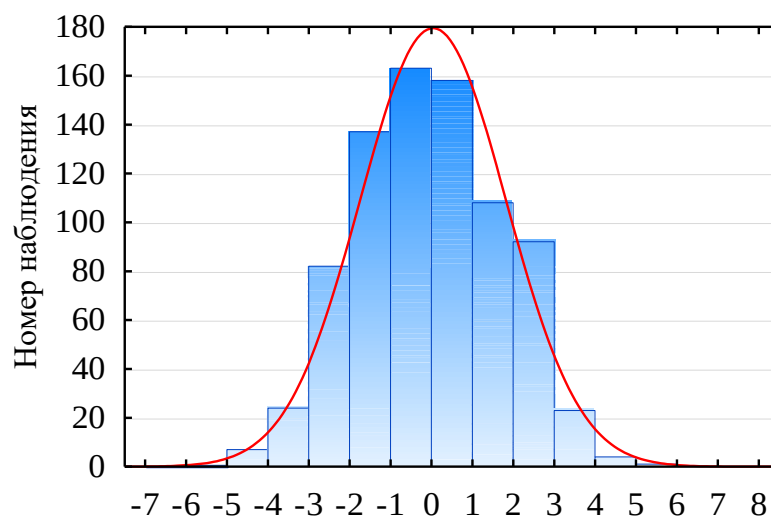


Рисунок 13 – Гистограмма распределения стандартизованных остатков деградации антоцианов после удаления эффектов температуры, длительности, дозировки щепы и кислорода

Таблица 23 – Кинетические параметры процесса деградации антоцианов при портвейнизации

Вариант опыта	$k, \text{ч}^{-1}$	$t_{1/2}, \text{сут}$	Вариант опыта	$k, \text{ч}^{-1}$	$t_{1/2}, \text{сут}$
B1-20	$2,911 \cdot 10^{-5}$	992	B3-20	$4,505 \cdot 10^{-5}$	641
B1-40	$7,117 \cdot 10^{-5}$	406	B3-40	$1,062 \cdot 10^{-4}$	272
B1-50	$1,359 \cdot 10^{-4}$	213	B3-50	$1,673 \cdot 10^{-4}$	172
B1-60	$1,747 \cdot 10^{-4}$	165	B3-60	$2,284 \cdot 10^{-4}$	126
B2-20	$3,558 \cdot 10^{-5}$	812	B4-20	$5,148 \cdot 10^{-5}$	561
B2-40	$8,734 \cdot 10^{-5}$	331	B4-40	$1,255 \cdot 10^{-4}$	230
B2-50	$1,585 \cdot 10^{-4}$	182	B4-50	$1,963 \cdot 10^{-4}$	147
B2-60	$2,070 \cdot 10^{-4}$	139	B4-60	$2,413 \cdot 10^{-4}$	120

В предположении, что динамика разрушения антоцианов при портвейнизации подчиняется кинетическому уравнению первого порядка, концентрация антоцианов в процессе портвейнизации может быть найдена из соотношения

$$c = c_0 e^{kt}, \quad (2)$$

где c – концентрация антоцианов в момент времени t (ч), мг/дм³; c_0 – начальная концентрация антоцианов в виноматериале, мг/дм³; k – константа скорости реакции, ч⁻¹; t – длительность портвейнизации, ч.

Зависимость константы скорости k от температуры T (К) выражается уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (3)$$

где k_0 – предэкспоненциальный множитель, ч^{-1} ; E_a – энергия активации, кДж/моль ; R – универсальная газовая постоянная ($8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$).

На основании обработки экспериментальных данных инструментарием химической кинетики были построены диаграммы Аррениуса (рисунок 14).

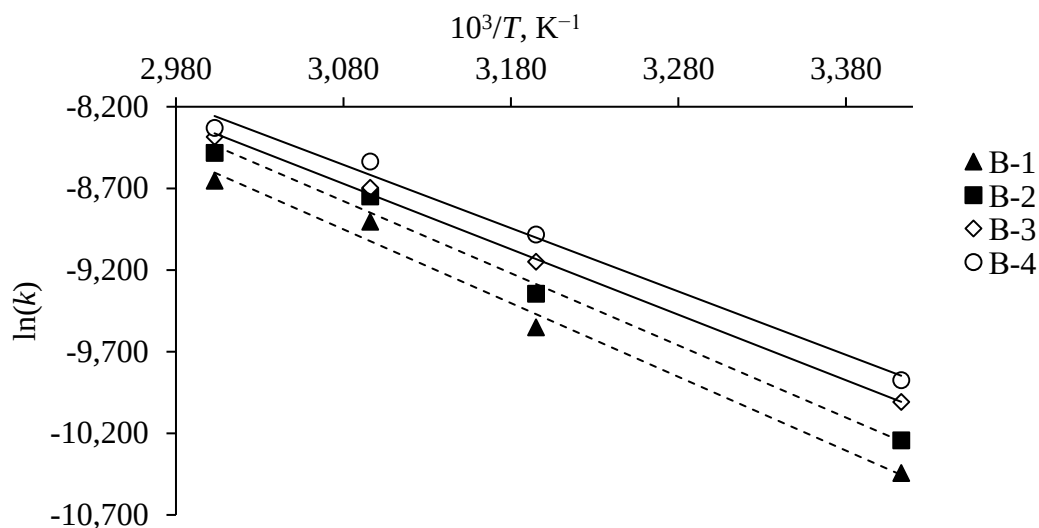


Рисунок 14 – Диаграммы Аррениуса для экспериментальных данных

На основании полученных диаграмм Аррениуса были определены энергии активации (E_a) и предэкспоненциальные коэффициенты (k_0) для каждого варианта опыта (таблица 24).

Таблица 24 – Кинетические параметры уравнения Аррениуса

Вариант опыта	E_a , кДж/моль	k_0 , ч^{-1}	R^2
В-1	36,336	102,89	0,9879
В-2	35,712	95,14	0,9916
В-3	32,927	35,57	0,9984
В-4	31,330	23,02	0,9908

Анализ полученных значений энергий активации позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшая энергия активации (36,3 кДж/моль) характерна для чисто термической деградации в анаэробных условиях. Это означает, что данный процесс наиболее чувствителен к изменению температуры;
- добавление дубовой щепы незначительно снижает энергию активации (до 35,7 кДж/моль), что может указывать на наличие дополнительных путей трансформации (например, адсорбция), имеющих более низкий энергетический барьер;
- присутствие кислорода существенно снижает энергию активации (до 32,9 кДж/моль). Это свидетельствует о том, что окислительные механизмы деградации требуют меньшей энергии активации и доминируют в аэробных условиях;
- минимальная энергия активации (31,3 кДж/моль) зафиксирована для варианта с совместным действием кислорода и дубовой щепы, что указывает на синергетический эффект этих факторов.

На рисунке 15 представлена эволюция цвета крепленого виноматериала, подвергнутого портвейнизации при различных температурах на основе определения трихроматических координат цвета в системе CIE XYZ.

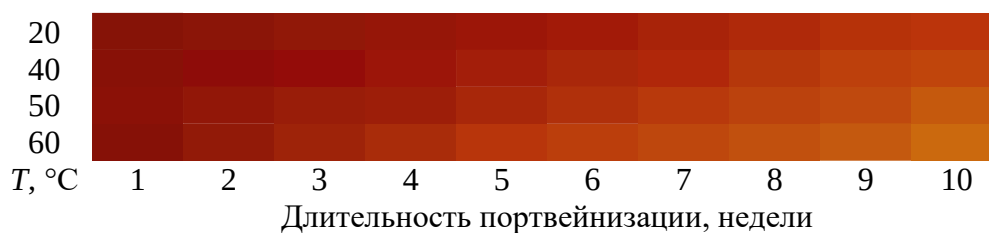


Рисунок 15 – Визуализация динамики цветовых координат в системе CIE XYZ (на основе определения доминирующей длины волны)

Полученные в эксперименте данные хорошо согласуются с результатами других исследователей. Так, в работе [111] рассмотрена кинетика деградации антоцианов при выдержке виноградных вин в бутылках в отсутствии кислорода. Авторы данного исследования пришли к выводу, что эволюция антоциановых пигментов при выдержке вина зависит не только от начальной концентрации антоци-

анов, но и от сортовых особенностей винограда (соотношения индивидуальных антоцианов).

Для количественной оценки вклада каждого из исследованных факторов в процесс деградации антоцианов был проведен четырехфакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Результаты представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа влияния технологических факторов на деградацию антоцианов

Фактор	Сумма квадратов	Число степеней свободы df	Средний квадрат	F -критерий	p -уровень	Сила влияния*, %
Температура (A)	28 456	3	9 485,3	412,60	< 0,001	58,1
Длительность (B)	13 224	9	1 469,3	63,90		27,0
Дозировка щепы (C)	2 009	1	2 009,0	87,40		4,1
Дозировка O ₂ (D)	2 547	1	2 547,0	110,80		5,2
Взаимодействие A×B	1 176	27	43,6	1,90	< 0,05	2,4
Взаимодействие A×C	245	3	81,7	3,60		0,5
Взаимодействие A×D	312	3	104,0	4,50	< 0,01	0,6
Взаимодействие B×C	198	9	22,0	0,96	> 0,05	0,4
Взаимодействие B×D	267	9	29,7	1,29		0,5
Взаимодействие C×D	98	1	98,0	4,26	< 0,05	0,2
Прочие взаимодействия	367	—	—	—	—	0,8
Остаток	1 102	48	23,0	—	—	—
Итого	48 976	—	—	—	—	100,0
Примечание – * Сила влияния рассчитана методом Снедекора.						

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

– температура процесса является абсолютно доминирующим фактором, определяющим скорость деградации антоцианов при портвейнизации (сила влияния 58,1 %, $p < 0,001$). Это подтверждает, что термическая деградация – основной механизм потерь антоцианов в исследованных условиях;

– длительность портвейнизации также вносит очень существенный вклад (27,0 %, $p < 0,001$), что очевидно, так как процесс идет во времени;

– дозировка кислорода (5,2 %, $p < 0,001$) и дубовой щепы (4,1 %, $p < 0,001$) являются значимыми, но менее влиятельными факторами. Их вклад сопоставим и указывает на то, что как окислительные процессы, так и взаимодействие с компонентами древесины ускоряют трансформацию антоцианов;

– из взаимодействий факторов статистически значимо лишь взаимодействие «температура $\times$ длительность» (2,4 %, $p < 0,05$), что отражает нелинейный характер температурной зависимости. Остальные взаимодействия имеют силу влияния менее 1 % и не всегда статистически значимы;

– отсутствие значимого совместного влияния всех четырех факторов (менее 0,1 %) свидетельствует о хорошей контролируемости эксперимента и возможности прогнозирования результатов на основе аддитивной модели.

Таким образом, температурная зависимость константы скорости реакции хорошо описывалась уравнением Аррениуса для всех вариантов портвейнизации ($R^2 > 0,99$). Максимальная деградация антоцианов отмечена при более высоких температурах и соответствовала кинетике реакции первого порядка как с добавлением кислорода, так и без него.

Следовательно, с известными значениями кинетических параметров реакции термической деградации антоцианов и начальной концентрации свободных антоцианов в портвейне можно предсказать их содержание в вине в любой момент времени и при любой температуре, если применить уравнения кинетики первого порядка и уравнение Аррениуса для каждого из режимов портвейнизации.

3.4 Взаимосвязь процесса портвейнизации с индексами химического возраста

Полученные в п. 3.3.1 и 3.3.2 экспериментальные данные о динамике антоцианов и ключевых ароматических соединений в процессе портвейнизации позволяют не только количественно оценить скорость отдельных процессов, но и интерпрети-

ровать их в терминах интегральных показателей – индексов химического возраста вина. Использование таких индексов дает возможность объективно характеризовать степень эволюции вина и прогнозировать его органолептические свойства [53; 143; 79]. Классический подход к оценке возраста красных вин был предложен Т. С. Somers и М. Е. Evans [143] на основе спектрофотометрического анализа фенольных соединений. Авторами были введены следующие показатели:

- химический возраст (chemical age, CA) – отношение оптической плотности при 520 нм после обесцвечивания образца виноматериала SO_2 к исходной D_{520} . Этот показатель отражает долю полимеризованных, устойчивых к SO_2 форм антоцианов и увеличивается с возрастом вина;

- доля ионизации антоцианов ($dA\%$) – степень ионизации антоцианов, зависящая от pH и состава вина;

- общий фенольный индекс (OD_{280}) – содержание фенольных соединений.

В процессе выдержки содержание мономерных антоцианов в образцах снижалось, а доля полимеризованных форм, напротив, возрастала. Такое перераспределение фракций и определяет изменение индекса химического возраста; динамика показателя по режимам выдержки – на рисунке 16.

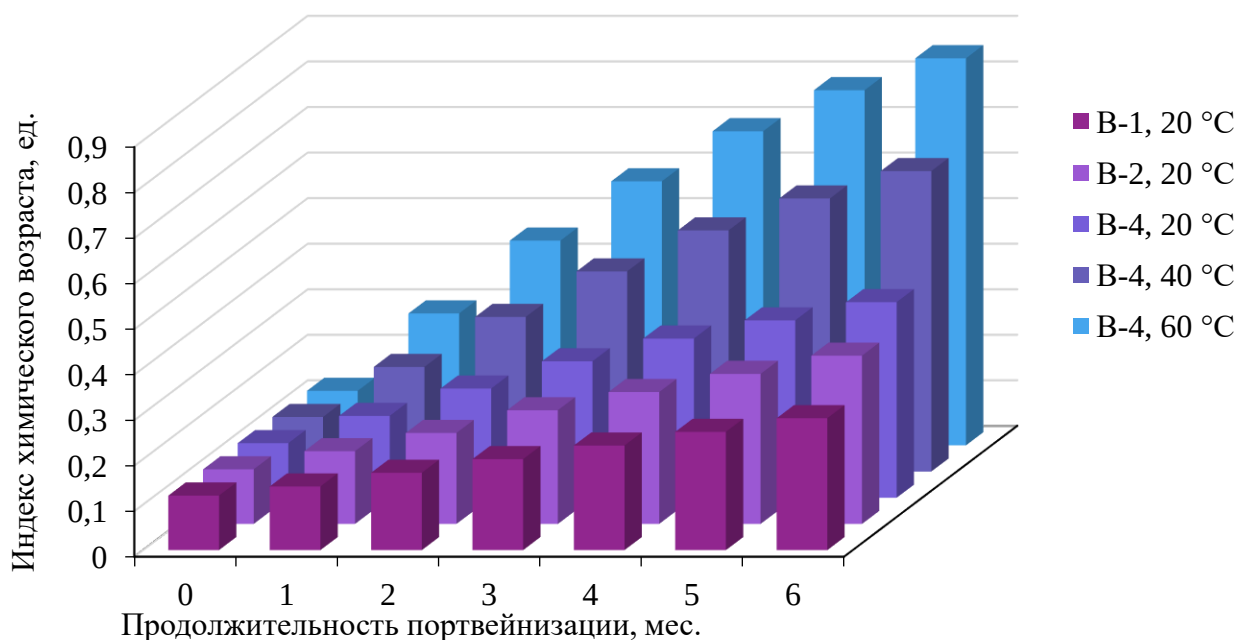


Рисунок 16 – Динамика индекса химического возраста в процессе портивейнизации

Без доступа кислорода (В-1, 20 °С) цвет за полгода лишь начал меняться: индекс дошел до 0,28 при исходных 0,12. Дубовая щепа (В-1, 20 °С) двигает процесс быстрее – к тому же сроку 0,35; вероятно, тут работают и экстрактивные вещества древесины, и сорбция части пигментов на щепе. Подача кислорода при 20 °С (В-4, 20 °С) поднимает индекс к 6 мес. до 0,41–0,44, причем добавка от увеличения дозы с 4 до 6 (мг/дм³)/мес. заметна. Наконец, температура: при 60 °С (В-4, 60 °С) индекс к трем месяцам – уже 0,72, к шести – 0,86; по данным [53; 143], такие значения встречаются у вин многолетней выдержки. Сопоставить режимы между собой можно по рисунку 16. Что кроется за этими цифрами, подсказывают корреляции (таблица 26): чем меньше в вине осталось мономерных антоцианов, тем выше индекс ($r = -0,94$; $p < 0,001$); чем больше в нем сотолон – тем тоже выше ($r = 0,91$; $p < 0,001$).

Таблица 26 – Коэффициенты корреляции между индексом химического возраста и содержанием ключевых соединений

Показатель	Коэффициент корреляции с индексом химического возраста	<i>p</i> -уровень
Мономерные антоцианы	–0,94	< 0,001
Интенсивность цвета ($I_{\text{ц}}$)	–0,76	< 0,001
β -Дамасценон	–0,68	< 0,01
Сотолон	+0,91	< 0,001
Фурфурол	+0,88	< 0,001
5-Метилфурфурол	+0,85	< 0,001
ГМФ	+0,89	< 0,001
1,1-Диэтоксиэтан	+0,86	< 0,001
Ванилин	+0,73	< 0,01

Фурановые альдегиды – прямые продукты термической деградации сахаров и реакции Майяра, что делает их удобными индикаторами тепловой нагрузки. Из динамики фурфурола, ГМФ и 5-метилфурфурола в ходе выдержки нами составлен интегральный показатель – индекс фуранового возраста (furan age index, *FAI*):

$$FAI = \frac{C_{\text{фурфурол}} + C_{5\text{-метилфурфурол}} + C_{\text{ГМФ}}}{1000}. \quad (4)$$

Деление на 1000 переводит индекс в удобный диапазон единиц. На рисунке 17 показано, как менялся *FAI* в наших опытах.

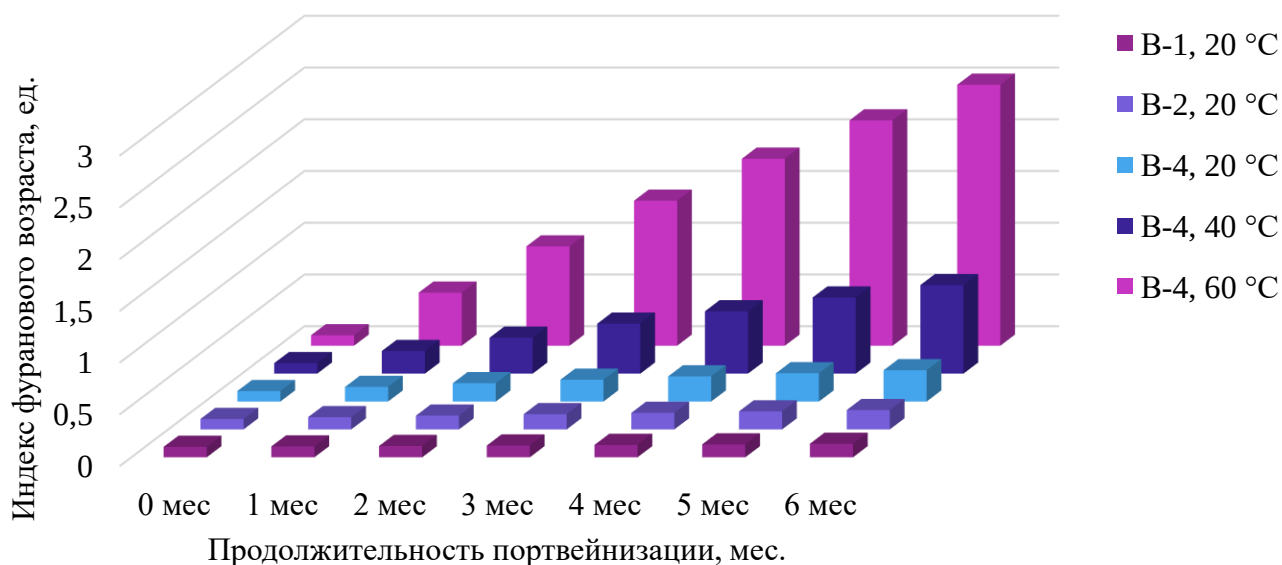


Рисунок 17 – Динамика индекса фуранового возраста в процессе портвейнизации

Сравнение с индексом химического возраста показал, что *FAI* отзывчивее к температуре. Если при 20 °C без кислорода он за полгода едва достигает до 0,13, то при 60 °C (B-4, 60 °C) к тому же сроку – уже в 20 раз больше. Для оценки тепловой нагрузки показатель тем удобнее, чем шире этот разброс.

Для сотолона важна не сумма, а превышение порога. Как один из основных одорантов окислительной выдержки портвейнов [62; 138], он ощущается уже в малых концентрациях, и потому нами предложен сотолоновый индекс (sotolon index, *SI*) – содержание сотолона, нормированное к его порогу восприятия (либо к содержанию в эталонных образцах):

$$SI = \frac{C_{\text{сотолон}}}{C_{\text{порог сотолон}}}. \quad (5)$$

Используя пороговое значение 10 мкг/дм^3 (среднее по литературным данным), получаем следующие значения SI для наших образцов (рисунок 18).

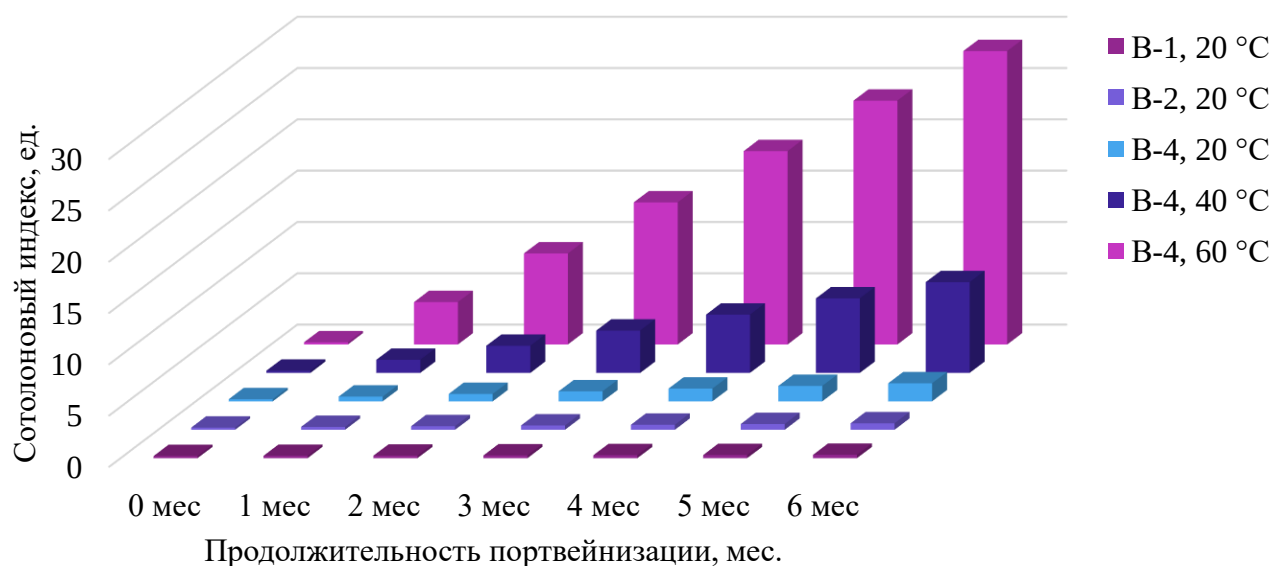


Рисунок 18 – Динамика сотолонового индекса (SI) в процессе портвейнизации

Значения $SI > 1$ (в варианте В-4, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигаемые к 3–4 мес., при повышенной температуре – значительно раньше) свидетельствуют о том, что сотолон начинает вносить ощутимый вклад в аромат. При $SI > 10$ тон сотолона преобладает, формируя характерный «окисленный» профиль.

На основе корреляционного анализа (см. таблицу 26) можно предложить расчетный комплексный индекс эволюции портвейна (Port Wine Evolution Index, $PWEI$), объединяющий показатели, отражающие разные аспекты старения:

$$PWEI = w_1 \left(1 - \frac{CA}{CA_{\max}} \right) + w_2 \left(\frac{FAI}{FAI_{\max}} \right) + w_3 \left(\frac{SI}{SI_{\max}} \right) + w_4 \left(\frac{A}{A_0} \right), \quad (6)$$

где CA – индекс химического возраста; FAI – индекс фуранового возраста; SI – сотолоновый индекс; A/A_0 – относительное содержание ацеталей (A_0 – исходное содержание ацеталей; A – текущее); w_1 – w_4 – весовые коэффициенты.

При расчете комплексного индекса эволюции портвейна, согласно проведенным исследованиям и на основе литературных данных приняты следующие максимальные уровни индивидуальных индексов:

- $CA_{\max}$ – максимальное значение индекса химического возраста, принятое равным 1,0 (теоретический предел полимеризации антоцианов);
- $FAI_{\max}$ – максимальное значение индекса фуранового возраста в эксперименте (2,52), можно принять 2,5;
- $SI_{\max}$ – максимальное значение сотолонового индекса в эксперименте (28,6), можно принять 30.

Предварительный анализ методом главных компонент (рисунок 19) показал, что первые две главные компоненты объясняют 87,3 % общей дисперсии, причем PC1 (62,1 %) тесно связана с температурой и дозой кислорода, а PC2 (25,2 %) – с присутствием дубовой щепы.

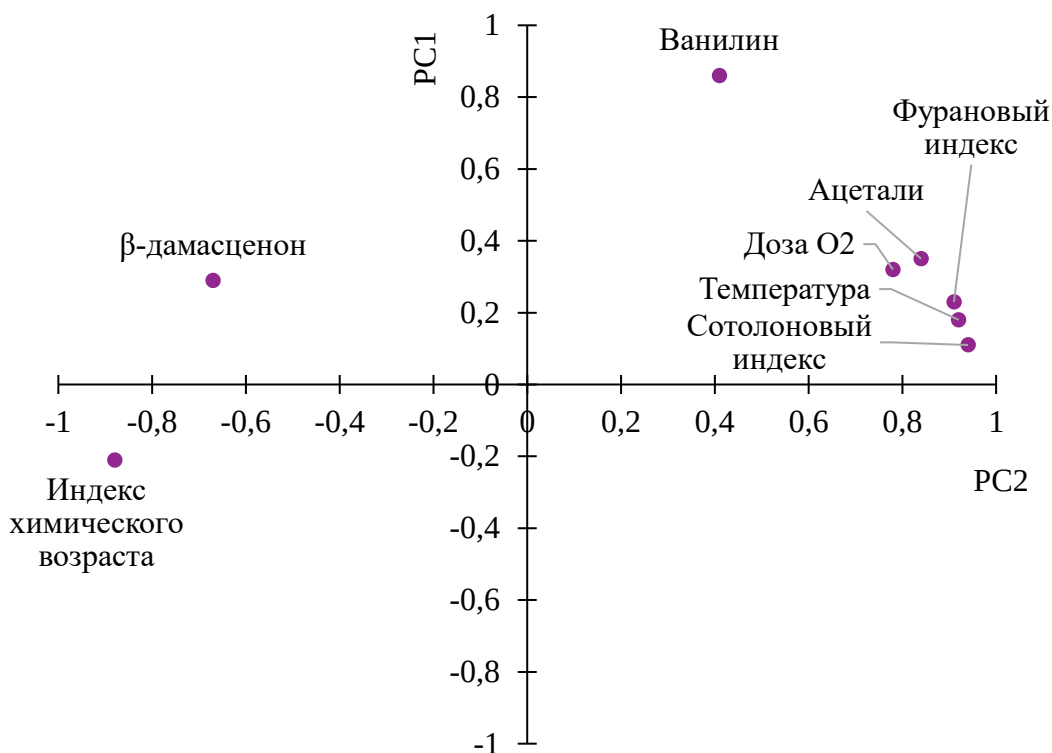


Рисунок 19 – Результаты анализа главных компонент (PCA) для образцов портвейнов

Нагрузки переменных на главные компоненты представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Нагрузки переменных на главные компоненты

Переменная	PC1	PC2
Температура	0,92	0,18
Доза O ₂	0,78	0,32
Индекс химического возраста (CA)	–0,88	–0,21
Сотолоновый индекс (SI)	0,94	0,11
Фурановый индекс (FAI)	0,91	0,23
Ацетали	0,84	0,35
Ванилин	0,41	0,86
β-Дамасценон	–0,67	0,29

На основе полученных кинетических данных были построены регрессионные модели, позволяющие прогнозировать значения индексов химического возраста в зависимости от температуры и времени выдержки.

3.4.1 Разработка прогностической модели

для оценки индекса химического возраста в процессе портвейнизации

Индекс химического возраста CA отражает долю полимеризованных антоцианов, устойчивых к SO_2 . В процессе выдержки эта доля стремится к предельному значению $CA_{\max}$, которое, согласно теории [143], может достигать единицы (полная полимеризация). Скорость увеличения CA пропорциональна разности между предельным и текущим значениями (т. е. доле еще не полимеризованных антоцианов), что соответствует кинетике необратимой реакции первого порядка:

$$\frac{dCA}{dt} = k(T) \cdot (CA_{\max} - CA), \quad (7)$$

где $k(T)$ – константа скорости, зависящая от температуры по уравнению Аррениуса:

$$k(T) = k_0 \cdot e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)}, \quad (8)$$

где k_0 – предэкспоненциальный множитель (частотный фактор), сут^{-1} ; E_a – энергия активации, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, К.

Интегрирование при начальном условии $CA(0) = CA_0$ дает:

$$CA(t, T) = CA_{\max} - (CA_{\max} - CA_0) \cdot e^{-k(T) \cdot t}, \quad (9)$$

или, подставляя $k(T)$:

$$CA(t, T) = CA_{\max} - (CA_{\max} - CA_0) \cdot e^{\left(-\left(k_0 \cdot e^{\frac{E_a}{RT}}\right) \cdot t\right)}. \quad (10)$$

При $t \rightarrow \infty$ $CA \rightarrow CA_{\max}$ (насыщение). Для молодого виноматериала $CA_0 = 0,12$. Теоретический предел $CA_{\max}$ принимаем равным 1,0 (однако при 60 °С за 6 мес. достигнуто значение 0,85, поэтому в пределах эксперимента насыщение не наступает).

Перепишем модель в форме, удобной для регрессии:

$$\ln \left(\frac{CA_{\max} - CA_0}{CA_{\max} - CA(t)} \right) = k(T) \cdot t. \quad (11)$$

Обозначим левую часть через Y . Для каждого экспериментального значения $CA(t)$ при фиксированной температуре T вычисляем Y . Для всех временных точек строим линейную регрессию $Y = kt$ (без свободного члена, так как при $t = 0$ $Y = 0$). Угловой коэффициент дает $k(T)$ для этой температуры.

Для режима I (анаэробная выдержка, без щепы) $CA_{\max}$ оставлен как параметр подгонки (оптимальное значение $\sim 0,95$), для режима II (с МОК 4 мг/дм³/мес. и дубовой щепой 2 г/дм³) – 1,0.

Для полученных значений $k(T)$ были построены графики в координатах $\ln k$ от $1/T$ исходя из уравнения:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}. \quad (12)$$

По наклону прямых были найдены значения E_a , по точкам пересечения – значения k_0 .

После получения начальных оценок регрессии была проведена прямая нелинейная подгонка исходного уравнения методом наименьших квадратов (с помощью Excel) для минимизации суммы квадратов отклонений. Результаты расчета коэффициентов модели приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Кинетические параметры прогностических моделей для оценки индекса химического возраста в зависимости от режимов портвейнизации

Режим портвейнизации	$CA_{\max}$	k_0 , сут ⁻¹	E_a , кДж/моль	R^2
Режим I (анаэробный, без МОК и щепы)	0,95	$8,2 \cdot 10^4$	37,1	0,978
Режим II (МОК 4 мг/дм ³ /мес. и дубовой щепой 2 г/дм ³)	1,0	$2,3 \cdot 10^5$	32,5	0,994

Установлено, что энергия активации в аэробных условиях (32,5 кДж/моль) ниже, чем в анаэробных (37,1 кДж/моль), что согласуется с ускоряющим действием кислорода и дубовой щепы – снижается энергетический барьер реакций конденсации.

Итоговый вид прогностических уравнений для расчета индекса химического возраста в зависимости от условий портвейнизации будут иметь вид:

– для анаэробных условий выдержки без контакта со щепой дуба:

$$CA(t, T) = 0,95 - 0,83e^{\left(-8,2 \cdot 10^4 \cdot e^{\left(-\frac{4462}{T}\right)}\right)}; \quad (13)$$

– для условий с микрооксигенацией (4 мг O₂/дм³ в месяц) и дубовой щепой (2 г/дм³):

$$CA(t, T) = 1 - 0,88e^{\left(-2,3 \cdot 10^5 \cdot e^{\left(-\frac{3909}{T}\right)}\right)}. \quad (14)$$

При проверке адекватности разработанных моделей установлена тесная связь между предсказанными и экспериментальными значениями ($r > 0,98$); средняя абсолютная процентная ошибка для режима II составляет 9,4 %, что подтверждает пригодность модели для практического прогнозирования индекса химического возраста в диапазоне температур 20–60 °С и при продолжительности выдержки до 6 мес.

3.4.2 Разработка прогностической модели для оценки сотолонового индекса в процессе портвейнизации

Сотолон накапливается в результате реакций, скорость которых возрастает со временем из-за образования активных промежуточных соединений (автокаталитический механизм) [80]. Кинетика может быть описана дифференциальным уравнением, в котором производная пропорциональна t^m ($m > 0$):

$$\frac{d[SI]}{dt} = k(T) \cdot t^m. \quad (15)$$

Здесь $k(T)$ – зависящая от температуры константа.

Интегрируем от начального момента (принимаем $SI(0) \approx 0$, так как исходные значения пренебрежимо малы):

$$\int_0^{SI(t)} d[SI] = k(T) \int_0^t \tau^m d\tau. \quad (16)$$

Вычисляем интеграл:

$$\int_0^t \tau^m d\tau = \left[\frac{\tau^{m+1}}{m+1} \right]_0^t = \frac{t^{m+1}}{m+1}. \quad (17)$$

Следовательно:

$$SI(t) = k(T) \cdot \frac{t^{m+1}}{m+1}. \quad (18)$$

Вводим новое обозначение: $n = m + 1$. Поскольку $m > 0$, то $n > 1$. Тогда выражение принимает вид:

$$SI(t) = \frac{k(T)}{n} \cdot t^n. \quad (19)$$

Комплекс $k(T)/n$ зависит от температуры (через $k(T)$) и от константы n . Обозначим его как новую эффективную константу скорости $k_{\text{эфф}}(T) = k(T)/n$. Переобозначив $k_{\text{эфф}}(T)$ обратно как $k(T)$, получаем финальную степенную модель:

$$SI(t, T) = k(T) \cdot t^n, \quad (20)$$

где $n > 1$ – показатель, характеризующий степень автоускорения (чем больше n , тем быстрее ускоряется процесс со временем). Температурная зависимость $k(T)$ по-прежнему описывается законом Аррениуса: $k(T) = k_0 \exp(-E_a/RT)$.

Логарифмируем модель:

$$\ln SI = \ln k(T) + n \ln t. \quad (21)$$

Далее для каждой температуры была построена регрессия $\ln SI$ от $\ln t$. Угол наклона дает n , а свободный член – $\ln k(T)$. В рамках проведенного эксперимента n оказался почти не зависящим от температуры, поэтому для каждого режима для упрощения можно принять среднее значение $\bar{n}$.

Используя полученные для разных температур значения $k(T)$, были построены графики $\ln k$ от $1/T$. По уравнению (12) определили E_a и k_0 .

С найденными начальными приближениями выполнили прямую нелинейную подгонку модели $SI = k_0 \exp(-E_a/RT) \cdot t^n$ для всего массива данных (таблица 29).

Таблица 29 – Кинетические параметры прогностических моделей для оценки сотолонового индекса в зависимости от режимов портвейнизации

Режим портвейнизации	n	k_0 , сут $^{-n}$	E_a , кДж/моль	R^2
Режим I (анаэробный, без МОК и щепы)	$1,20 \pm 0,05$	$6,0 \cdot 10^3$	32,8	0,978
Режим II (МОК 4 мг/дм ^{3} в месяц и дубовой щепой 2 г/дм ^{3})	$1,30 \pm 0,04$	$1,18 \cdot 10^4$	27,1	0,992

Таким образом, итоговый вид прогностических уравнений для расчета сотолонового индекса в зависимости от условий портвейнизации будут иметь вид:

– для анаэробных условий выдержки без контакта со щепой дуба:

$$SI(t, T) = 6 \cdot 10^3 \cdot e^{\left(\frac{3945}{T}\right)} \cdot t^{1,20}; \quad (22)$$

– для условий с микрооксигенацией (4 мг O_2 /дм³ в месяц) и дубовой щепой (2 г/дм³):

$$SI(t, T) = 1,18 \cdot 10^4 \cdot e^{\left(\frac{3259}{T}\right)} \cdot t^{1,30}, \quad (23)$$

где t – время, сут; T – температура, К.

Полученные прогностические модели справедливы в интервале $t = 0$ –180 сут и при $T = 20$ –60 °С и не предназначены для экстраполяции на многолетнюю выдержку. Для других сортов винограда и иных условий выдержки требуется калибровка коэффициентов k_0 , E_a , n .

В целом, полученные прогностические модели позволяют рассчитывать CA и SI как функции температуры и времени, что дает возможность объективно сравнивать разные режимы портвейнизации и подбирать параметры для достижения целевых значений (например, $SI \leq 2$ для стиля Ruby).

3.4.3 Определение весовых коэффициентов комплексного индекса эволюции портвейна

Для расчета комплексного индекса эволюции портвейна (PWEI), объединяющего различные аспекты химического старения, необходимо обоснованное определение весовых коэффициентов w_1 – w_4 . Выбор метода их расчета должен обеспечивать объективность, воспроизводимость и практическую значимость получаемого интегрального показателя. В рамках настоящего исследования были рассмотрены и сопоставлены несколько подходов.

1. Экспертный подход. Наиболее прямой и широко используемый в сенсорном анализе и квалиметрии способ – привлечение группы экспертов для оценки

относительной важности каждого показателя. Метод был реализован следующим образом:

- была сформирована группа экспертов ($n = 11$) из числа сотрудников кафедры биотехнологии БТИ АлтГТУ и имеющих опыт проведения дегустационных исследований;

- каждому эксперту было представлено описание четырех показателей, входящих в комплексный индекс эволюции портвейна: индекс химического возраста (CA) – отражает степень полимеризации антоцианов, связан с цветом и терпкостью; индекс фуранового возраста (FAI) – отражает интенсивность термических процессов (реакции Майяра, карамелизация); сотолоновый индекс (SI) – отражает степень окислительной выдержки, ключевой для формирования тона выдержки портвейна; относительное содержание ацеталей (A/A_0) – отражает вклад реакций конденсации, связан с фруктово-ореховыми тонами;

- показатели были проранжированы экспертами по степени их значимости для характеристики выдержанного портвейна типа Ruby. Для ранжирования была использована непосредственная оценка показателей по 10-балльной шкале.

Далее, на основе полученных результатов были вычислены средние баллы по каждому показателю, а затем была проведена нормировка таким образом, чтобы сумма коэффициентов равнялась 1 (таблица 30).

Таблица 30 – Результаты экспертной оценки значимости показателей для характеристики выдержанности портвейна

Эксперт	CA	FAI	SI	A/A_0
1	0,25	0,20	0,40	0,15
2	0,30	0,15	0,45	0,10
3	0,20	0,25	0,40	0,15
4	0,25	0,20	0,35	0,20
5	0,30	0,15	0,40	0,15
6	0,25	0,20	0,45	0,10
7	0,20	0,25	0,40	0,15
8	0,25	0,20	0,40	0,15

Продолжение таблицы 30

Эксперт	<i>CA</i>	<i>FAI</i>	<i>SI</i>	<i>A/A₀</i>
9	0,30	0,15	0,40	0,15
10	0,25	0,20	0,35	0,20
11	0,25	0,20	0,45	0,10
12	0,20	0,25	0,40	0,15
Среднее	0,250	0,200	0,404	0,146
Дисперсия	0,0013	0,0012	0,0010	0,0011
Коэффициент вариации, %	14,4	17,3	7,8	22,7

Как видно из таблицы 30, наибольшую значимость эксперты придали сотолоновому индексу ($w_3 = 0,404$), что согласуется с литературными данными о ключевой роли сотолона в формировании выдержанного тона портвейна [138]. Индекс химического возраста получил второй по величине вес ($w_1 = 0,250$), за ним следуют фурановый индекс ($w_2 = 0,200$) и содержание ацеталей ($w_4 = 0,146$). Низкая дисперсия оценок (коэффициент вариации менее 23 % по всем показателям) свидетельствует о приемлемой согласованности экспертов.

2. Математический подход. Более объективный метод определения весов – использование результатов анализа главных компонент (*PCA*). Вклад каждой исходной переменной в главные компоненты может служить основой для расчета весов. Был проведен *PCA*-анализ для массива данных, включающего все исследуемые показатели (*CA*, *FAI*, *SI*, *A/A₀*) для всех образцов. В результате данного анализа были определены нагрузки переменных на первую главную компоненту (*PC1*), которая в данном исследовании интерпретируется как интегральный фактор «выдержанности». Веса коэффициентов были рассчитаны как нормированные абсолютные значения нагрузок на *PC1* и составили: для *CA*: $|-0,88| = 0,88$; для *FAI* 0,91; для *SI* 0,94; для *A/A₀* 0,84. После нормировки получаем:

$$w_1 = 0,88 / (0,88 + 0,91 + 0,94 + 0,84) = 0,246;$$

$$w_2 = 0,91 / (0,88 + 0,91 + 0,94 + 0,84) = 0,255;$$

$$w_3 = 0,94 / (0,88 + 0,91 + 0,94 + 0,84) = 0,263;$$

$$w_4 = 0,84 / (0,88 + 0,91 + 0,94 + 0,84) = 0,236.$$

Как видно, метод *РСА* дает более равномерное распределение весов, тогда как эксперты явно выделяют сотолон как наиболее значимый показатель.

Таблица 31 – Сравнение весовых коэффициентов, полученных разными методами

Показатель	Экспертный метод	Метод <i>РСА</i>	Отклонение, %
$w_1 (CA)$	0,250	0,246	–1,6
$w_2 (FAI)$	0,200	0,255	+27,5
$w_3 (SI)$	0,404	0,263	–34,9
$w_4 (A/A_0)$	0,146	0,236	+61,6

Большие расхождения для коэффициентов w_2 – w_4 объясняются тем, что *РСА*-анализ не учитывает пороги восприятия и сенсорной значимости, по сути, этот анализ просто отражает математическую структуру данных. Эксперты же опираются на понимание того, какой вклад каждое соединение вносит в реально ощущаемый аромат.

3. Комбинированный подход. Наиболее обоснованным представляется комбинированный подход, учитывающий как объективную математическую структуру данных, так и сенсорную значимость показателей.

В рамках апробации данного подхода базовые веса коэффициентов были определены методом *РСА*. Далее были введены корректирующие коэффициенты k_i , отражающие относительную сенсорную значимость (для сотолон и фуранов – рассчитывали как величину как обратную величине порога восприятия, для индекса химического возраста и ацеталей коэффициенты были приняты с учетом их вклада в формирование цвета и аромата). Итоговые веса рассчитывались как:

$$w_i = \frac{w_i(PCA) \cdot k_i}{\sum (w_i(PCA) \cdot k_i)}. \quad (24)$$

Тогда:

$$w_1 = (0,246 \times 1,2) / (0,246 \times 1,2 + 0,255 \times 1,0 + 0,263 \times 1,5 + 0,236 \times 0,8) = 0,295/0,996 = 0,296;$$

$$w_2 = (0,255 \times 1,0) / (0,246 \times 1,2 + 0,255 \times 1,0 + 0,263 \times 1,5 + 0,236 \times 0,8) = 0,256;$$

$$w_3 = (0,263 \times 1,5) / (0,246 \times 1,2 + 0,255 \times 1,0 + 0,263 \times 1,5 + 0,236 \times 0,8) = 0,395/0,996 = 0,396;$$

$$w_4 = (0,236 \times 0,8) / (0,246 \times 1,2 + 0,255 \times 1,0 + 0,263 \times 1,5 + 0,236 \times 0,8) = 0,189/0,996 = 0,190.$$

Полученные комбинированные веса хорошо согласуются с экспертными оценками (особенно по сотолону), учитывают объективную структуру данных и могут быть рекомендованы для расчета *PWEI*.

3.5 Определение оптимальных доз кислорода и температуры для формирования желаемого окисленного профиля

Режим выдержки оптимизировали на материале сорта Фиолетовый ранний выбранного в качестве основного для производства портвейна. Основанием для расчета послужили данные, накопленные по этому сорту: кинетика деградации антоцианов, динамика основных ароматических маркеров и интегральные индексы химического возраста. Критерии оптимизации: сохранность β -дамасценаона; сотолоновый индекс, индекс химического возраста, потери антоцианов.

Поверхности отклика (рисунок 20) по основным показателям были построены при фиксированной дозе кислорода 4 мг/дм³ в месяц. Расчет по этим поверхностям позволяет выделить область параметров, удовлетворяющих заданным критериям; полученные режимы сведены в таблицу 32.

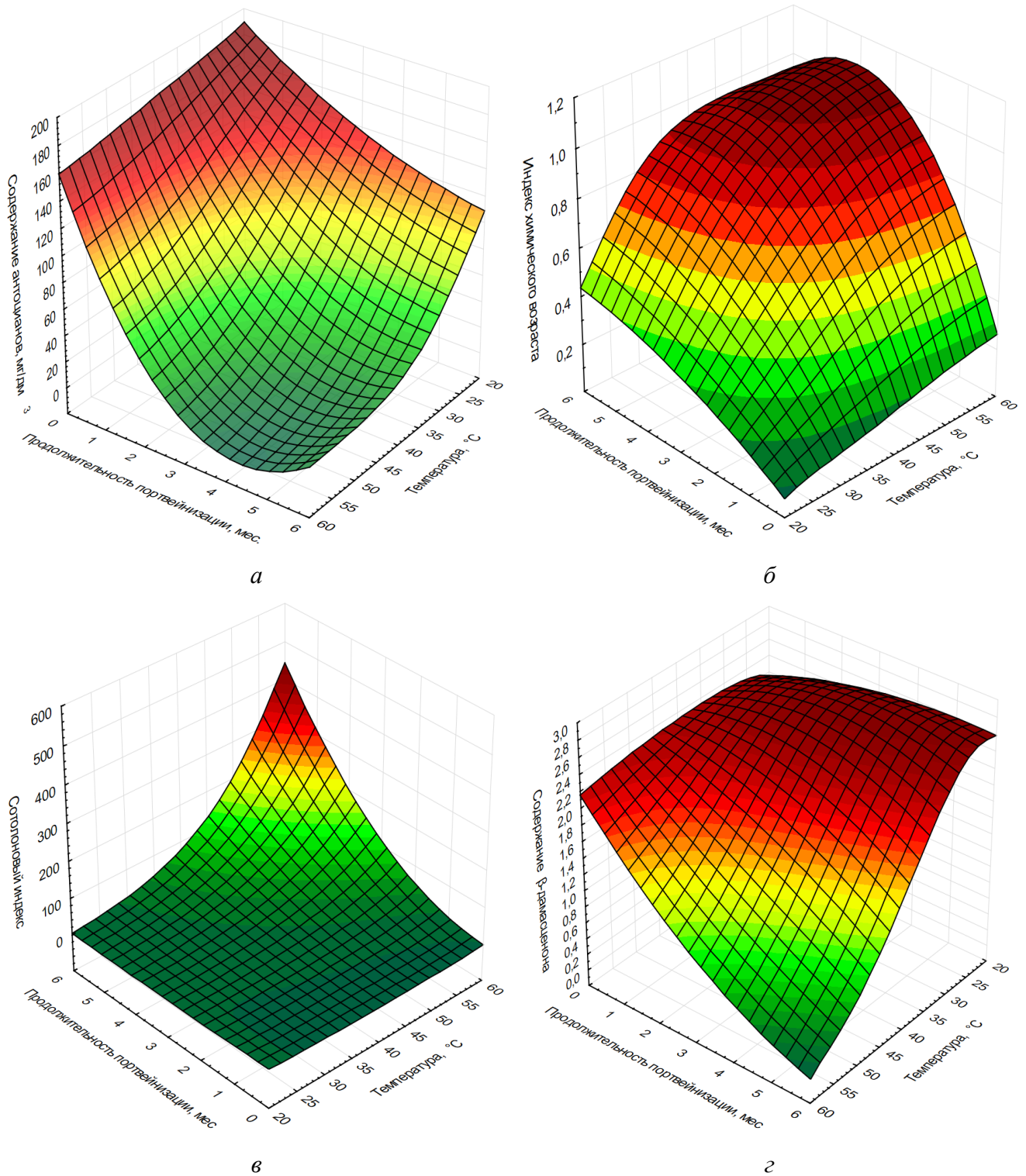


Рисунок 20 – Поверхности отклика для портулака:
 а – содержание антоцианов; б – индекс химического возраста;
 в – сахарный индекс; г – содержание β-дамасцена

Таблица 32 – Область допустимых значений параметров для выдержки портвейнов

Параметр	Критерий	Диапазон температур, °С	Диапазон продолжительности, мес.
Антоцианы	$\geq 130 \text{ мг/дм}^3$	20–28	≤ 5
Индекс СА	$\geq 0,30$	≥ 22	≥ 2
Сотолоновый индекс	$\leq 2,0$	≤ 26	≤ 5
β -Дамасценон	$\geq 1,82 \text{ мкг/дм}^3$	≤ 24	≤ 4
Пересечение всех критериев	–	22–24	3–4

В таблице 33 представлены прогнозируемые характеристики портвейна при этом режиме.

Таблица 33 – Прогнозируемые характеристики портвейна при оптимальном режиме

Показатель	Исходное значение	После портвейнизации	Изменение, %
Антоцианы, мг/дм ³	184	145	–21
Индекс химического возраста (СА)	0,12	0,34	+183
Сотолон, мкг/дм ³	2,1	12,4	+490
Сотолоновый индекс (SI)	0,21	1,24	–
β -Дамасценон, мкг/дм ³	2,27	2,56	+13
Фурфурол, мкг/дм ³	12,3	33,6	+173
Интенсивность цвета (I_c)	8,7	7,4	–15

Доза кислорода, равная 4 (мг/дм³)/мес., дала наилучшее сочетание развития третичного аромата и сохранения сортовых характеристик. Увеличение дозы до 6 мг/дм³ в месяц ускоряет процессы, но содержание β -дамасценона снижается до 82 % от исходного. При дозировке кислорода 8 мг/дм³ в месяц накопление маркеров третичного аромата почти не возрастает, а деградация сортовых соединений усиливается и появляется риск нежелательных окисленных тонов.

По совокупности полученных результатов сформулированы практические рекомендации по режимам выдержки (таблица 34).

Таблица 34 – Рекомендуемые режимы портвейнизации для виноматериала из винограда сорта Фиолетовый ранний

Параметр	Значение
Температура, °С	22–24
Продолжительность, мес.	3–4
Доза O ₂ , (мг/дм ³)/мес.	4
Дубовая щепа, г/дм ³	2
Контролируемые показатели	
Индекс химического возраста (CA) (целевой)	0,30–0,40
Сотолоновый индекс SI	1,0–2,0
Сохранность β-дамасцена, %	Не менее 90
Органолептическая характеристика	Яркая фруктово-розовая, легкие тона выдержки, рубиновый цвет

Для проверки адекватности разработанных моделей проведены дополнительные эксперименты по выдержке образцов в оптимизированных условиях. Результаты представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Результаты эксперимента по получению портвейна в оптимизированных условиях

Показатель	Значение показателя для портвейна	
	по прогностическим моделям	фактическое
Антоцианы, мг/дм ³	140–150	136 ± 5
Индекс химического возраста (CA)	0,32–0,36	0,34 ± 0,02
Сотолоновый индекс SI	1,2–1,6	1,2 ± 0,2
β-Дамасценон, мкг/дм ³	2,5–2,6	2,44 ± 0,12

Соответствие прогнозных и фактических значений (отклонение в пределах 5–10 % по всем четырем показателям) подтверждает адекватность разработанных моделей и обоснованность выбранных оптимальных режимов.

3.6 Сравнительный анализ влияния спиртующих агентов на качество портвейна

После завершения портвейнизации были определены основные физико-химические показатели полученных образцов (таблица 36, образцы получены из виноматериала, описанного в таблице 14, – урожай 2023 г., режим М2).

Таблица 36 – Физико-химические показатели портвейнов, полученных с разными спиртующими агентами

Показатель	Вариант Р (ректификат)	Вариант Д (дистиллят)	Вариант Смесь
Объемная доля этилового спирта, %	$18,4 \pm 0,2$	$18,6 \pm 0,2$	$18,5 \pm 0,2$
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	$83,2 \pm 2,5$	$84,1 \pm 2,5$	$83,7 \pm 2,5$
Титруемая кислотность, г/дм ³	$5,4 \pm 0,2$	$5,3 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,2$
рН	$3,54 \pm 0,03$	$3,51 \pm 0,03$	$3,53 \pm 0,03$
Массовая концентрация антоцианов, мг/дм ³	148 ± 6	151 ± 6	149 ± 6
Индекс химического возраста (СА)	$0,35 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02$

Базовые физико-химические показатели (спирт, сахара, кислотность, антоцианы, СА) практически не различаются между вариантами. Это ожидаемо, так как тип спиртующего агента не влияет на эти параметры напрямую. Различия проявляются на уровне летучих соединений и органолептических характеристик.

Результаты анализа летучих соединений в готовых портвейнах представлены в таблице 37.

На основе представленных данных можно сделать ряд выводов. Так, суммарное содержание эфиров в варианте Д ($86,3 \text{ мг/дм}^3$) почти в 1,8 раза превышает вариант Р ($47,7 \text{ мг/дм}^3$). Наибольшие различия отмечены для этилгексаноата (в 2 раза), этилоктаноата (в 2,3 раза), этилдеcanoата (в 2,2 раза) и 2-фенилэтилацетата (в 2,3 раза). Это полностью согласуется с данными [134] о доминирующем вкладе дистиллята в эфирный фон портвейна.

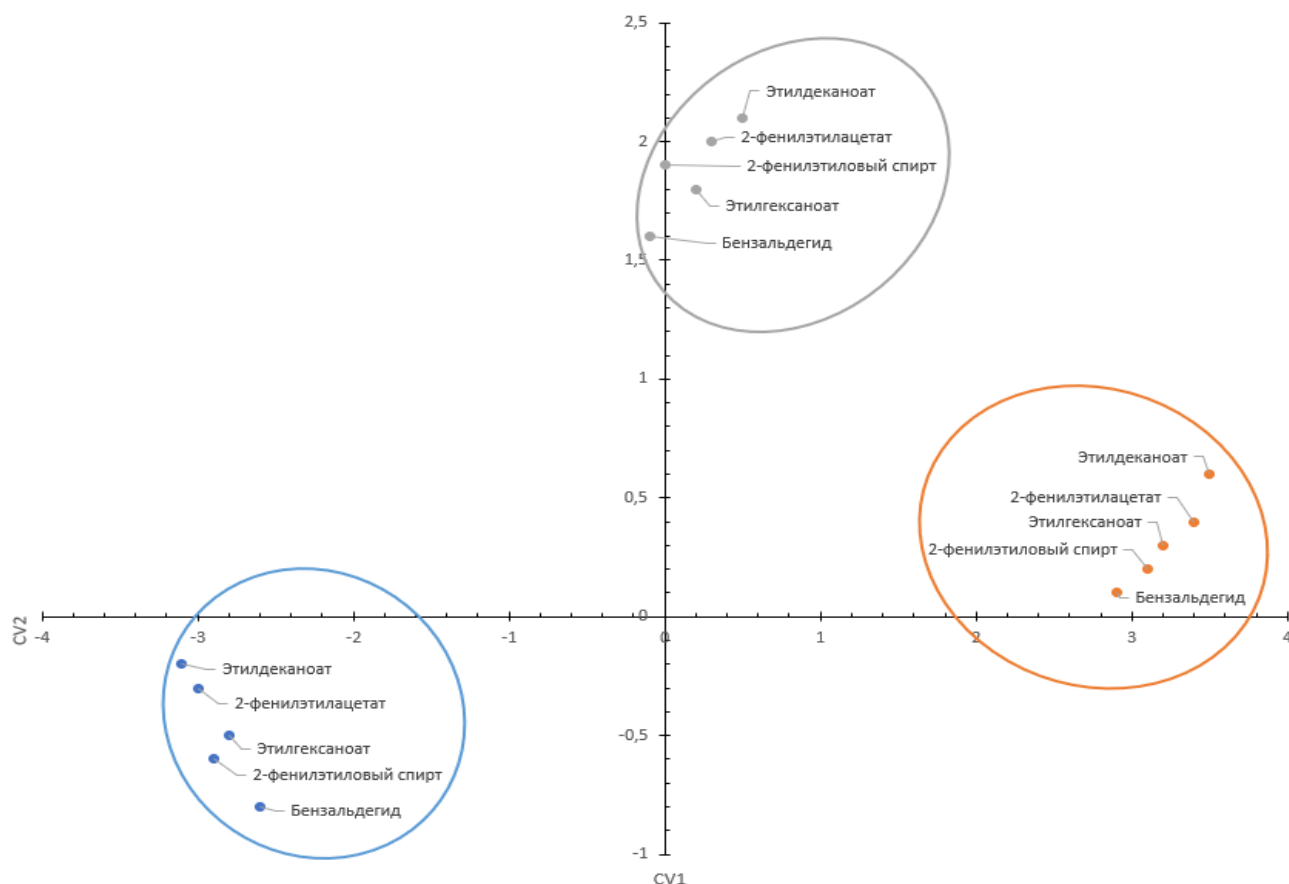
Таблица 37 – Содержание ключевых летучих соединений в портвейнах, полученных с разными спиртующими агентами

Соединение	Содержание, мг/дм³			Уровень статистической значимости (<i>p</i>)
	Вариант Р	Вариант Д	Вариант Смесь	
Сложные эфиры				
Этилацетат	38,4 ± 2,7 ^b	67,3 ± 4,7 ^a	52,8 ± 3,7 ^a	< 0,01
Этилбутаноат	2,1 ± 0,2 ^c	5,8 ± 0,4 ^a	4,2 ± 0,3 ^b	< 0,001
Этилгексаноат	1,92 ± 0,14 ^c	3,84 ± 0,27 ^a	2,96 ± 0,21 ^b	< 0,001
Этилоктаноат	1,18 ± 0,09 ^c	2,73 ± 0,19 ^a	2,05 ± 0,15 ^b	< 0,001
Этилдеcanoат	0,96 ± 0,07 ^c	2,12 ± 0,15 ^a	1,58 ± 0,11 ^b	< 0,001
Изоамилацетат	2,68 ± 0,19 ^b	3,35 ± 0,24 ^a	3,12 ± 0,22 ^{ab}	< 0,05
2-Фенилэтилацетат	0,48 ± 0,04 ^c	1,12 ± 0,08 ^a	0,84 ± 0,06 ^b	< 0,001
Сумма эфиров	47,7	86,3	67,6	–
Высшие спирты				
Изоамиловый спирт	254 ± 18	312 ± 22	286 ± 20	> 0,05
Изобутиловый спирт	33 ± 3	41 ± 4	38 ± 3	> 0,05
2-Фенилэтиловый спирт	29 ± 2 ^b	43 ± 3 ^a	37 ± 3 ^a	< 0,01
Альдегиды				
Ацетальдегид	24,6 ± 1,7 ^b	38,4 ± 2,7 ^a	32,5 ± 2,3 ^a	< 0,01
Бензальдегид	0,12 ± 0,02 ^c	1,24 ± 0,09 ^a	0,73 ± 0,06 ^b	< 0,001
Фурановые альдегиды				
Фурфурол	0,33 ± 0,02	0,36 ± 0,03	0,35 ± 0,02	> 0,05
ГМФ	2,51 ± 0,18	2,48 ± 0,17	2,50 ± 0,18	> 0,05
Терпены				
Линалоол	0,058 ± 0,004 ^b	0,072 ± 0,005 ^a	0,066 ± 0,005 ^{ab}	< 0,05
Лактоны				
Сотолон, мкг/дм³	12,4 ± 0,9	12,1 ± 0,9	12,3 ± 0,9	> 0,05
Примечание – Разные строчные буквы в пределах строки обозначают статистически значимые различия по тесту Тьюки при <i>p</i> < 0,05.				

Установлено, что содержание 2-фенилэтилового спирта (цветочный, розовый тон) в варианте Д на 48 % выше, чем в варианте Р, что также обусловлено его присутствием в дистилляте. Бензальдегид (тон горького миндаля), практически отсутствующий в варианте Р (0,12 мг/дм³), в варианте Д достигает 1,24 мг/дм³, что в 10 раз выше. Это соединение является важным компонентом аромата выдержанных портвейнов и, как показано в [134], на 87–94 % поступает из дистиллята.

Важно, что соединения, образующиеся в процессе выдержки (фурановые альдегиды, сотолон), не различаются статистически значимо между вариантами, что подтверждает, что условия портвейнизации для всех образцов были идентичными. Вариант Смесь занимает промежуточное положение по большинству показателей, что делает его компромиссным решением.

Для выявления соединений, которые могут служить маркерами типа использованного спиртующего агента, был проведен дискриминантный анализ. На рисунке 21 представлена диаграмма рассеяния образцов в координатах двух канонических переменных. В качестве независимых переменных использовали концентрации этилгексаноата, этилдеcanoата, бензальдегида, 2-фенилэтилацетата и 2-фенилэтилового спирта, предварительно стандартизованные. Группирующей переменной выступал тип крепителя (ректификат, дистиллят, смесь). Первая каноническая переменная (CV1) объяснила 89,2 % межгрупповой дисперсии, вторая (CV2) – 10,8 %.



Примечание – Синим цветом обозначен вариант Р; оранжевым – вариант Д, серым – вариант Смесь.

Рисунок 21 – Диаграмма рассеяния образцов в координатах канонических переменных

Как видно из рисунка 21, каноническая переменная CV1 четко разделяет ректификат (отрицательные значения) и дистиллят (положительные значения), смесь занимает промежуточное положение. Каноническая переменная CV2 (вертикальная ось) вносит уже иное различие: высокие положительные значения по ней получает смесь, которую она отводит в сторону от обоих компонентов – вариантов Р и Д. Это значит, что профиль смеси не складывается простым усреднением: будь это так, точки смеси лежали бы на прямой между группами ректификата и дистиллята. Разнесение всех трех групп при этом в целом отчетливое, чего, по-видимому, достаточно, чтобы считать отобранные соединения рабочими маркерами природы спирта. Практическое следствие непосредственное: по этим соединениям можно установить, каким спиртующим агентом креплен готовый портвейн, т. е. контроль подлинности опирается на состав продукта, а не только на сопроводительные документы.

Выводы по главе 3

В результате экспериментальных исследований получены следующие основные результаты и выводы.

Методом кластерного анализа выделены четыре группы сортов, различающихся по технологическому потенциалу. Установлены сортоспецифичные особенности: сорт Фиолетовый ранний характеризуется ярким терпеновым профилем (линалоол 37,3 мкг/дм³, OAV 2,49) и высоким эфиробразованием (изоамилацетат 2,7 мг/дм³, OAV 90,0); сорт Загадка Шарова – высоким содержанием β-дамасцена (1,72 мкг/дм³, OAV 34,4) и этилгексаноата (1,24 мг/дм³, OAV 15,5); Зилга – наличием уникального «изабельного» тона (метилантранилат 64,6 мкг/дм³, OAV 1,44). Каберне Северный признан малопригодным для производства портвейна типа Ruby ввиду преобладания травянистых тонов (метоксипиразины; OAV 1,6).

Показано, что вторичный аромат виноматериалов для портвейна можно направленно модифицировать через выбор дрожжевой культуры. В работе применено последовательное брожение: сначала *M. pulcherrima*, затем вносили *S. cerevisiae* через 72 и 96 ч. Оба варианта оправдали себя по сравнению с чистой культурой: выросли все целевые эфиры – изоамилацетат (на 24–31 %), этилгексаноат (на 20–21 %), 2-фенилэтилацетат (в 1,8 раза), а из связанных форм высвободился линалоол (в 1,6 раза). Органолептически разница чувствовалась: увеличилась интенсивность аромата (4,6 против 3,9 в контроле) и гармоничность (4,3 против 3,7), а в профиле – заметные тропические и цветочные акценты.

Оптимизированы режимы выдержки с применением микрооксигенации. Установлено, что накопление фурановых альдегидов, сотолон и ацеталей существенно зависит от температуры и дозы кислорода. Для β -дамасцена, напротив, характерна немонотонная динамика – при умеренных режимах (20 °C) он увеличивается на 13–16 %, тогда как при 50–60 °C деградирует на 14–29 %.

Содержание этилгексаноата, этилоктаноата, этилдеcanoата и 2-фенилэтилацетата в варианте с дистиллятом в 1,5–2,5 раза выше, чем с ректификатом; увеличиваются также 2-фенилэтиловый спирт и бензальдегид. Базовые физико-химические показатели при этом не изменились: спирт-крепитель вносит вклад в летучую часть, не затрагивая основные характеристики вина.

Таким образом, в результате выполненных исследований научно обоснованы и экспериментально подтверждены биотехнологические приемы регулирования органолептического профиля портвейнов из нетрадиционных сортов винограда Алтайского края, включающие отбор сырья по ароматическому потенциалу; использование культуры *Metschnikowia pulcherrima* для обогащения вторичного аромата; оптимизацию режимов портвейнизации (температура, доза кислорода, продолжительность) с применением микрооксигенации; выбор спиртующего агента (винный дистиллят) для усиления аромата дистилляции.

Полученные данные являются основой для разработки комплексной биотехнологической схемы производства крепленых вин в стиле портвейнов Ruby из нетрадиционных сортов винограда, адаптированной к условиям Алтайского края, что составляет содержание главы 4.

4 Разработка и производственная апробация биотехнологии портвейна из продукции виноградарства Алтайского края

На основании результатов комплексных исследований, представленных в главе 3, включающих оценку сырьевого потенциала алтайских сортов винограда, оптимизацию процессов формирования вторичного и третичного аромата, в настоящей главе разработана комплексная биотехнологическая схема производства портвейна, адаптированная к условиям Алтайского края. Проведена производственная апробация разработанной технологии, оценено качество полученной продукции и ее стабильность при хранении, а также выполнена технико-экономическая оценка предложенных решений.

4.1 Разработка комплексной биотехнологической схемы производства крепленых вин

4.1.1 Обоснование выбора сортовой комбинации и параметров технологических режимов

На основании результатов, полученных в параграфах 3.1 и 3.2, для промышленного освоения рекомендован базовый сорт Фиолетовый ранний, обладающий уникальным сочетанием высокого терпенового потенциала (линалоол 37,3 мкг/дм³, OAV 2,49), активным эфиробразованием (изоамилацетат 2,7 мг/дм³, OAV 90,0) и стабильной урожайностью в условиях Алтайского края. Загадка Шарова – в купажах для повышения гармоничности. Зилга рассматривается как сорт для специаль-

ных купажей: продукты на ее основе приобретают выраженный региональный характер, однако ее долю в купаже следует ограничивать. На основе исследований определены технологические параметры, представленные в таблице 38.

Таблица 38 – Оптимальные технологические параметры производства портвейна из сорта Фиолетовый ранний

Технологический этап	Параметр	Значение	Обоснование
Переработка винограда	Степень дробления	Отделение гребней, легкое дробление	Предотвращение излишней экстракции грубых танинов
	Сульфитация мезги	100 мг/дм ³ SO ₂	Микробиологическая стабилизация, защита от окисления
Ферментация	Дрожжи	<i>M. pulcherrima</i> (96 ч), затем <i>S. cerevisiae</i>	Максимальное обогащение вторичного аромата
	Температура брожения	22–24 °С	Оптимум для развития аромата
	Продолжительность контакта с мезгой	4–5 сут	До достижения спирта естественного брожения 3 % об.
Крепление	Спиртующий агент	Винный дистиллят (агуарденте)	Обогащение аромата дистилляции, повышение качества
	Конечная крепость	(18,5 ± 0,5) % об.	Соответствие требованиям к портвейнам
Осветление и отдых	Обработка бентонитом	2 г/дм ³	Удаление дрожжевого осадка, стабилизация
	Продолжительность отдыха	1 мес. при 10 °С	Формирование осадка, гармонизация
Портвейнизация	Температура, °С	22–24	Экспериментально установленные параметры портвейнизации
	Продолжительность	3–4 мес.	
	Микрооксигенация	4 (мг O ₂ /дм ³)/мес.	
	Дубовая щепка	2 г/дм ³ , слабая обжарка	Обогащение ванильными тонами, стабилизация цвета
Обработка и розлив	Оклейка	Желатин (0,5–1 г/дм ³) при необходимости	Тонкая коррекция терпкости
	Фильтрация	Мембранная (0,45 мкм)	Обеспечение микробиологической стабильности
	Розлив	В инертной среде (N ₂ или Ar)	Защита от окисления при хранении

4.1.2 Принципиальная биотехнологическая схема производства портвейна

На основе оптимизированных параметров разработана принципиальная биотехнологическая схема производства портвейна из продукции виноградарства Алтайского края (рисунок 22).

Виноград, собранный при достижении технологической зрелости (сахаристость не ниже 170 г/дм³ для базовых сортов), доставляется на предприятие и разгружается в приемный бункер-накопитель 1, где хранится не более 6–8 ч при температуре 10–15 °С. Из бункера виноград подается в дробилку-гребнеотделитель 2, в которой осуществляется разрушение ягод с одновременным отделением гребней; отделенные гребни выводятся из технологического потока в виде отходов. Раздробленная мезга направляется в резервуар 3, где сульфитируется путем дозирования SO₂ в дозе 100 мг/дм³ из дозатора 4, что обеспечивает подавление окислительных процессов и развития посторонней микрофлоры.

Сульфитированная мезга передается в резервуар ферментации 5, оснащенный системой контроля температуры. На первом этапе из дозатора 6 вносится инокулят дрожжей-несахаромицетов *Metschnikowia pulcherrima* в дозе 25 г/дал; ферментация проводится при 22–24 °С в течение 96 ч, что способствует накоплению сложных эфиров и тиолов, формирующих фруктовые тона вторичного аромата. По истечении указанного срока из дозатора 7 вносится культура *Saccharomyces cerevisiae* в дозе 25 г/дал, и ферментация продолжается до накопления спирта естественного брожения не менее 3,0 % об. с контролем показателя каждые 12 ч. По завершении подбраживания виноматериал-недоброд отделяется от мезги прессованием на прессе 8; отпрессованная мезга (выжимки) выводится из потока, а виноматериал-недоброд направляется на следующую стадию.

Сусло подается в резервуар крепления 9, оснащенный перемешивающим устройством.

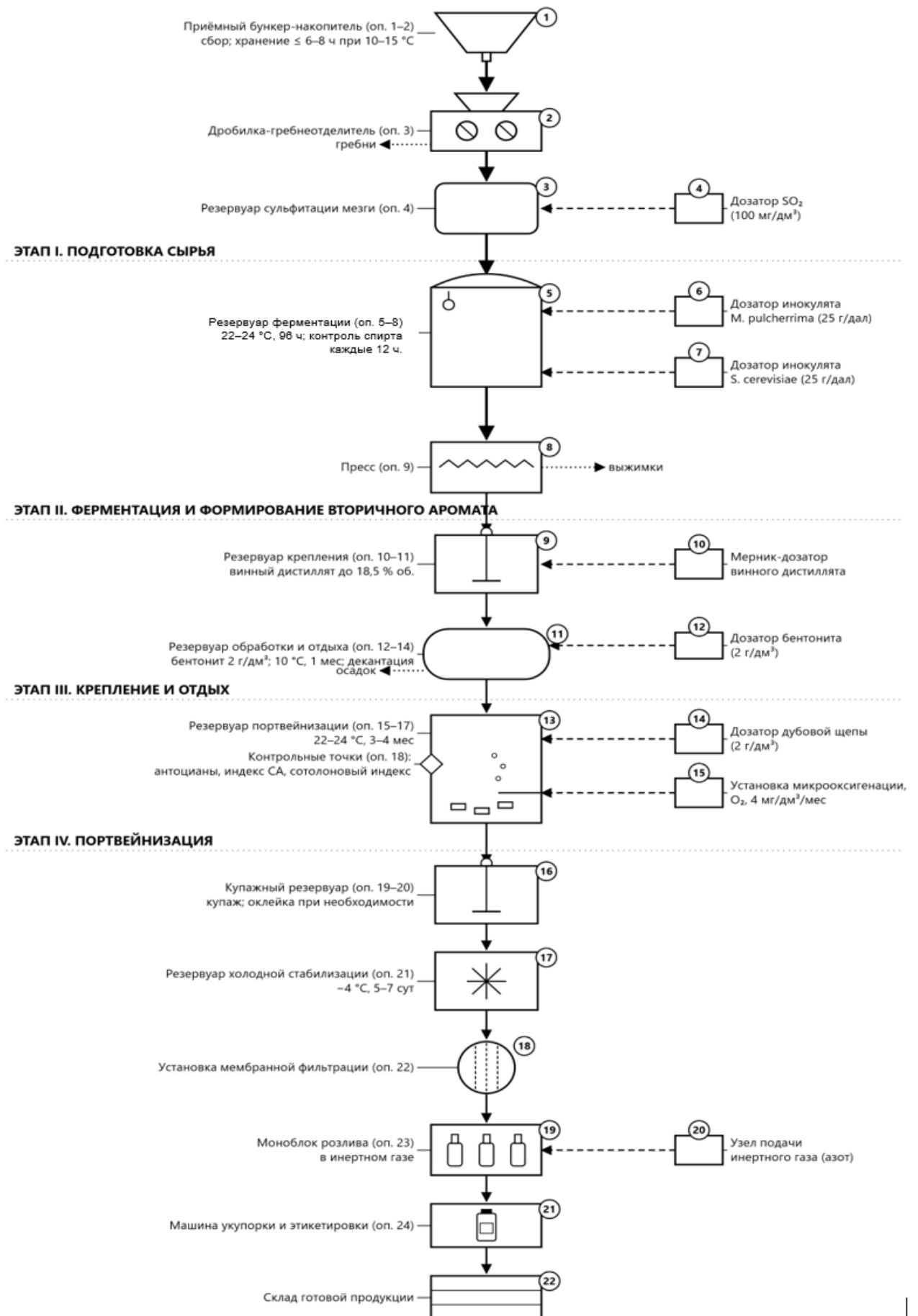


Рисунок 22 – Принципиальная аппаратурно-технологическая схема
производства портвейна

Расчет количества спиртующего агента выполняется из условия достижения конечной крепости 18,5 % об.; винный дистиллят вносится постепенно из мерника-дозатора 10 при непрерывном перемешивании, что обеспечивает равномерное распределение этанола и сохранение заданного сахаристого профиля. Затем виноматериал передается в резервуар обработки и отдыха 11, где обрабатывается бентонитом в дозе 2 г/дм³, вносимым из дозатора 12, с целью удаления белковых веществ и избыточных фенольных соединений, после чего выдерживается (отдых) при 10 °С в течение 1 мес. Коррекция избытка фенольных веществ осуществляется при необходимости дополнительной оклейкой желатином. По окончании отдыха производится декантация – снятие вина с осадка, выводимого из технологического потока.

Осветленный крепленый виноматериал передается в резервуар портвейнизации 13, в который из дозатора 14 вносится дубовая щепка в дозе 2 г/дм³ и подключается установка микрооксигенации 15, обеспечивающая подачу кислорода в объеме 4 мг О₂/дм³ в месяц. Выдержка осуществляется при 22–24 °С в течение 3–4 мес. с ежемесячным контролем трех показателей: содержания антоцианов, индекса химического возраста (СА) и сотолонового индекса. Вместе они дают объективную картину того, как идет формирование рубинового цвета и третичного аромата, по которым и оценивают готовность портвейна. Сама выдержка при этом сочетает микрооксигенацию с дубовой щепой: это позволяет ускорить перестройку вина, сохраняя окислительные процессы под контролем.

По завершении выдержки начинается доводка. В купажном резервуаре 16 вино при необходимости соединяют с другими сортами и партиями, чтобы выровнять органолептический профиль, и оклеивают. Затем следуют операции стабилизации: холодная обработка в резервуаре 17 (минус 4 °С, 5–7 сут) для предотвращения выпадения винного камня и мембранная фильтрация 18 для удаления кристаллической взвеси и микрофлоры. Розлив на моноблоке 19 ведут в атмосфере инертного газа (узел 20), чтобы на финишной стадии не допустить неконтролируемого окисления; далее продукция укупоривается и этикируется на машине 21 и поступает на склад готовой продукции 22.

Вся схема, таким образом, выстроена вокруг одного принципа: на каждом этапе формируется своя составляющая профиля. Сортовой аромат закладывается выбором и подготовкой сырья, вторичный – последовательным брожением на *M. pulcherrima* и *S. cerevisiae*, вклад крепителя – винным дистиллятом, третичный аромат – выдержкой в условиях контролируемой микрооксигенации. Такое поэтапное, управляемое построение технологии и дает возможность стандартизировать качество напитка из продукции виноградарства Алтайского края.

4.1.3 Разработка панели дескрипторов для органолептической оценки портвейнов из продукции виноградарства Алтайского края

Отдельным результатом работы стала панель дескрипторов для объективной органолептической оценки портвейнов из продукции виноградарства Алтайского края. Необходимость в ней возникла из специфики самого объекта: существующие сенсорные словари составлялись для столовых вин из классических сортов и не учитывают ни особенностей сырья, ни тех изменений, которые вносят примененные приемы – культура дрожжей *M. pulcherrima*, микрооксигенация, крепление дистиллятом. Панель построена на классификации ароматов по происхождению (первичный, вторичный, третичный ароматы и вклад спиртующего агента), и каждый ее термин подкреплён связью с конкретными химическими соединениями – по совокупности данных коэффициенты корреляции достигают 0,72–0,91 ($p < 0,01$).

При ее составлении руководствовались четырьмя положениями: 1) дескриптор должен быть химически объясним – за каждым стоит вещество или группа веществ, определенных в портвейнах; только тогда дегустация становится диагностическим приемом, а не субъективным впечатлением; 2) дескрипторы выстроены иерархически – от категории через группу к конкретному термину, чтобы панелью было удобно пользоваться и ее можно было передавать новым членам комиссии;

- 3) охват всех модальностей – орто- и ретроназального аромата, базовых вкусов, тактильных ощущений и внешнего вида, иначе описание продукта остается неполным;
- 4) каждый термин должен указывать на технологический этап или параметр (сорт, режим брожения, условия выдержки), иначе оценка не будет полезна технологу.

В итоге панель насчитывает 37 дескрипторов, объединенных в четыре категории (таблица 39).

Панель можно применять двумя способами:

– для профильного анализа: каждый образец оценивают по всем дескрипторам по пятибалльной шкале (1 – не ощущается, 5 – максимальная интенсивность; 0 – признак отсутствует), после чего строят профилограмму; такой сенсорный «портрет» позволяет сравнивать образцы между собой непосредственно;

– для контроля соответствия целевому стилю: профиль образца сопоставляют с эталонным профилем (таблица 40), при этом расхождения по отдельным дескрипторам показывают, в каком направлении образец отходит от заданных характеристик.

Кроме того, панель служит для диагностики отклонений. По характеру преобладающего тона можно судить, на каком этапе допущен сбой: «сивушный» указывает на проблемы брожения, избыточный «миндальный» – на передержку или избыток дистиллята. Наконец, она дает «общий язык» для сравнительного анализа образцов: влияние разных приемов (режимов микрооксигенации, типов спиртующих агентов и др.) оценивается в одних и тех же терминах.

Панель удобнее использовать, когда дескрипторы выстроены наглядно, поэтому на ее основе построено колесо ароматов (рисунок 23) – круговая диаграмма, на которой все 37 дескрипторов распределены по трем доменам. Домен «Аромат» объединяет шесть групп – ягодно-фруктовую, цветочную, пряную, древесно-окисленную, вклад спирта-крепителя и потенциально дефектные тона; далее следуют «Вкус и тактильные ощущения» и «Визуальные характеристики». Ширина сектора каждой группы пропорциональна числу входящих в нее дескрипторов, а цветовое различие доменов помогает ориентироваться на диаграмме.

Главное достоинство колеса – систематизация сенсорного словаря.

Таблица 39 – Панель дескрипторов для органолептического профилирования портвейна

Категория / Группа	Дескриптор	Определение / Характерное проявление	Пример ключевого химического атрибута (источник)	Связь с технологией
А. Аромат (орто- и ретроназальный)				
А1. Ягодно-фруктовый первичный и вторичный аромат)	Красные ягоды	Аромат спелой малины, вишни, клубники, ежевики	β -дамасценон (сорт/старение); этилбутаноат (ферментация, дистилят)	Сортовые особенности, качество ферментации
	Темные фрукты	Аромат черной смородины, чернослива, сливы	Тиолы (сорт); этилгексаноат (ферментация, дистилят)	Сортовые особенности
	Тропические фрукты	Аромат маракуйи, гуавы, личи, манго	Тиолы (сорт); изоамилацетат (ферментация)	Применение <i>M. pulcherrima</i>
	Цитрусовые	Аромат грейпфрута, помело, цедры апельсина	Линалоол, цитронеллол (сорт, дистилят)	Мускатные сорта, качество дистилята
	Сушеные/вяленые фрукты	Аромат изюма, инжира, кураги, чернослива	Гидроксиметилфурфурол (выдержка)	Интенсивность портвейнизации
А2. Цветочный (первичный и четвертичный)	Мускатный	Характерный тон муската, чайной розы	Линалоол, гераниол (сорт)	Сорт «Фиолетовый ранний»
	Роза	Аромат розы, розовой воды	2-Фенилэтанол, 2-фенилэтилацетат (ферментация, дистилят)	Качество дистилята
	Акация/Липа	Нежный медово-цветочный тон	Линалоол (в низких концентрациях), фенилацетальдегид	Сбалансированная ферментация
А3. Пряный (первичный и третичный)	Перечный	Четкий аромат черного перца, перца чили	Ротундон (сесквитерпен – сорт)	Сортовые особенности
	Пряный (общий)	Сложный аромат смеси специй: корица, гвоздика, имбирь	Этиловые эфиры коричной кислоты; сотолон (в малых дозах)	Длительная выдержка
	Лакрица	Тон солодки, лакрицы	Анетол, эстрагол	Длительная выдержка в дубе

Продолжение таблицы 39

Категория / Группа	Дескриптор	Определение / Характерное проявление	Пример ключевого химического атрибута (источник)	Связь с технологией
А4. Древесно-окисленный (третичный и дуб)	Ванильный	Аромат ванили, ванильного сахара	Ванилин (деградация лигнина дуба)	Дубовая щепка, контакт с дубом
	Кокосовый	Тон кокосовой стружки, кокосового молока	Виски-лактоны (β -метил- γ -окталактон)	Дубовая щепка (слабая обжарка)
	Древесный	Аромат свежей древесины, опилок	Эвгенол, гваякол	Дубовая щепка (средняя обжарка)
	Ореховый	Аромат грецкого, лесного ореха, миндаля	Сотолон (в умеренных дозах), бензальдегид	Окислительная выдержка, дистиллят
	Миндальный	Тон горького миндаля, марципана	Бензальдегид	Винный дистиллят
	Карамельный/жженный сахар	Аромат карамели, жженого сахара, ириски	Фурфурол, 5-метилфурфурол, ГМФ (выдержка); сотолон	Интенсивная портвейнизация
	Шоколадный/какао	Аромат темного шоколада, какао-порошка	Продукты окислительной полимеризации фенолов	Длительная выдержка
	Медовый	Теплый, сладковатый аромат меда, пчелиного воска	Фенилуксусная кислота, этилгидроциннамат (дистиллят, ферментация)	Винный дистиллят
	Дымный/табачный	Аромат дыма, кожи, сигарного табака, чайного листа	Гваякол, 4-метилгваякол (обжарка дуба); продукты распада фенолов	Интенсивная обжарка дуба, длительная выдержка
А5. Аромат дистилляции (специфический)	Виноградный спирт	Чистый, благородный тон виноградного дистиллята	Комплекс этиловых эфиров и высших спиртов	Качественный винный дистиллят
	Фруктовый (дистиллятный)	Интенсивный фруктовый тон, отличный от ферментационного	Этилгексаноат, этилоктаноат, этилдеcanoат (из дистиллята)	Использование винного дистиллята
А6. Потенциально дефектные	Уксусный	Резкий, кислый аромат уксусной кислоты	Уксусная кислота (бактериальная порча, избыток при ферментации)	Нарушение санитарии, избыток кислорода
	Окисленный (избыточный)	Интенсивный тон жженого миндаля, лакрицы, «старости»	Высокие концентрации фурфурола, сотолона, ацетальдегида	Передержка, избыток кислорода
	Сивушный	Тяжелый, неприятный алкогольный запах, растворитель	Изоамиловый спирт, изобутиловый спирт (избыток)	Нарушение режимов ферментации

Продолжение таблицы 39

Категория / Группа	Дескриптор	Определение / Характерное проявление	Пример ключевого химического атрибута (источник)	Связь с технологией
	Редуктивный (сероводород)	Запах тухлых яиц, резины, дренажа	Сероводород (H ₂ S), меркаптаны	Дефицит питания дрожжей
	«Изабельный» (в избытке)	Резкий землянично-ананасный тон, напоминающий парфюм	Метилантранилат (высокие концентрации)	Избыток сорта «Зилга» в купаже
Б. Вкус и тактильные ощущения				
Б1. Базовые вкусы	Сладость	Ощущение сахара на кончике языка	Сахара (глюкоза, фруктоза)	Остаточный сахар после крепления
	Кислотность	Острый, свежий вкус по бокам языка	Винная, яблочная, молочная кислоты	Сортовые особенности, ЯМБ
	Горечь	Вкус у основания языка, часто в послевкусии	Полимеризованные танины, некоторые продукты окисления	Длительная выдержка
Б2. Тактильные ощущения во рту	Терпкость	Ощущение стягивания, сухости, шероховатости	Мономерные и олигомерные танины (проантоцианидины)	Сортовые особенности, экстракция
	Алкогольное тепло	Ощущение тепла или жжения в полости рта и задней части неба	Этанол, высшие спирты	Крепость, качество дистиллята
	Полнота тела/ текстура	Восприятие плотности, вязкости, объемности вина во рту	Экстракт, глицерин, полисахариды	Качество сырья, выдержка
	Бархатистость/ шелковистость	Мягкое, гладкое ощущение, смягченная терпкость	Полимеризованные танины, взаимодействие с полисахаридами	Длительная выдержка, микрооксигенация
В. Визуальные характеристики				
В. Визуальные характеристики	Цвет (оттенок)	Фиолетовый, рубиновый, гранатовый, кирпичный, коричневатый	Антоцианы в различных формах (мономерные, полимерные)	Степень выдержки, доступ кислорода
	Интенсивность цвета	Глубина и насыщенность окраски	Общая концентрация окрашенных фенольных соединений	Сортовые особенности, выдержка
	Прозрачность	Отсутствие опалесценции, осадка	Стабильность коллоидной системы	Качество оклейки и фильтрации

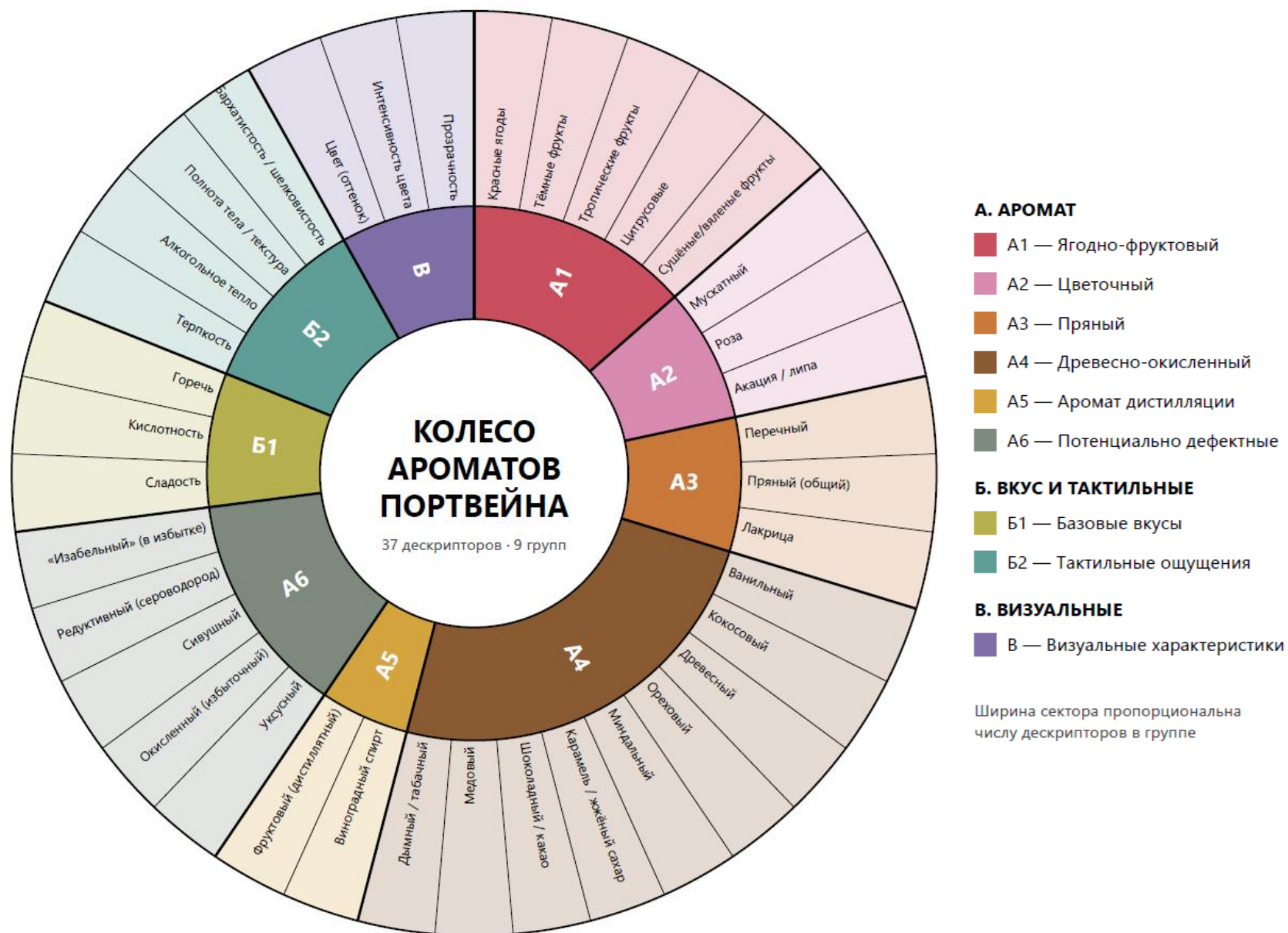


Рисунок 23 – Колесо ароматов портвейна в соответствии с разработанной панелью дескрипторов

Таблица 40 – Эталонный сенсорный профиль портвейна из сорта Фиолетовый ранний

Группа дескрипторов	Дескриптор	Целевая интенсивность	Допустимый диапазон
Ягодно-фруктовые	Красные ягоды	4,0	3,5–4,5
	Тропические фрукты	3,5	3,0–4,0
	Сушеные фрукты	2,0	1,5–2,5
Цветочные	Мускатный	3,5	3,0–4,0
	Роза	2,5	2,0–3,0
Пряные	Перечный	1,5	1,0–2,0
	Пряный (общий)	2,0	1,5–2,5
Древесно-окисленные	Ванильный	2,5	2,0–3,0
	Ореховый	2,0	1,5–2,5
	Карамельный	1,5	1,0–2,0
	Медовый	2,0	1,5–2,5
Вкусовые	Сладость	4,0	3,5–4,5
	Кислотность	3,0	2,5–3,5
	Терпкость	3,0	2,5–3,5
	Полнота тела	4,0	3,5–4,5
Визуальные	Цвет (рубиновый)	4,5	4,0–5,0
	Интенсивность цвета	4,5	4,0–5,0

Строго определенный набор дескрипторов взамен свободного описания устраняет разночтения в терминологии, результаты оценок становятся воспроизводимыми и сопоставимыми. Двигаясь от общего к частному, дегустатор сначала относит свое впечатление к группе и лишь затем подбирает точный термин, что экономит время на оценку и заметно упрощает обучение новых членов комиссии.

Практическая ценность колеса в том, что оно не привязано к лаборатории: его можно использовать и в условиях микровиноделия, и на промышленном предприятии – от оценки молодого сусла до приемки готового вина. По сути, это три инструмента в одном: справочник, обучающее пособие и бланк для записи результатов.

На основе колеса формируется дегустационный лист: каждый дескриптор оценивают по пятибалльной шкале, и сенсорный профиль перестает быть впечатлением – его можно выразить числом, изобразить профилограммой и подвергнуть статистической обработке. Сама диаграмма при этом тоже работает: по ней дегу-

статор сразу видит, какая зона профиля разрастается (например, древесно-окисленный домен по мере выдержки), без всяких пересчетов, а выделенная зона дефектных тонов не дает забыть о потенциальных отклонениях.

Панель проверена на опытных образцах (параграф 4.2): коэффициент вариации повторных оценок одного образца не превышал 12 %, а образцы, полученные по разным технологическим режимам, различались достоверно. Наконец, согласованность с химическими соединениями подтверждает, что термины панели отражают реальный состав: дескрипторы коррелируют со своими маркерными соединениями на уровне $r = 0,72\text{--}0,91$ ($p < 0,01$).

4.1.4 Регламентируемые показатели качества готовой продукции

На основе анализа нормативной документации и результатов собственных исследований разработаны технические требования к готовому продукту (таблица 41).

Таблица 41 – Регламентируемые показатели качества портвейна из сорта Фиолетовый ранний

Показатель	Значение	Метод контроля
Физико-химические показатели		
Объемная доля этилового спирта, %	$18,5 \pm 0,5$	ГОСТ 32095-2013
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	80–100	ГОСТ 32095-2013
Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм ³	4,0–6,0	ГОСТ 32114-2013
рН	3,3–3,8	Потенциометрически
Массовая концентрация летучих кислот, г/дм ³	Не более 1,2	ГОСТ 32001-2012
Массовая концентрация общего SO ₂ , мг/дм ³	Не более 200	ГОСТ 32115-2013

Продолжение таблицы 41

Показатель	Значение	Метод контроля
Массовая концентрация антоцианов, мг/дм ³	Не менее 130	Спектрофотометрически
Индекс химического возраста (СА)	0,30–0,40	По [143]
Микробиологические показатели		
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	Не более 500	ГОСТ 10444.15-94
Бактерии группы кишечных палочек	Не допускаются	ГОСТ 31747-2012
Патогенные микроорганизмы	Не допускаются	ГОСТ Р 57989-2017
Органолептические показатели		
Внешний вид	Прозрачное, без осадка и посторонних включений	Визуально
Цвет	Рубиновый, интенсивный	Визуально
Аромат	Сложный, с доминированием ягодно-фруктовых тонов, цветов, легкими тонами выдержки	Дегустационно
Вкус	Полный, гармоничный, с хорошей кислотной структурой, умеренной терпкостью, долгим послевкусием	Дегустационно

4.2 Апробация разработанной технологии в условиях микровиноделия

4.2.1 Выработка опытных партий портвейна в лабораторных и опытно-промышленных условиях

Для проверки разработанной технологии в условиях, приближенных к производственным, была проведена выработка опытных партий портвейна в условиях экспериментального производства кафедры биотехнологии (лаборатория микровиноделия).

Всего было переработано 500 кг винограда сорта Фиолетовый ранний (урожай 2025 г.), объем полученного виноматериала после крепления составил 380 л (38 дал). Режимы производства полностью соответствовали разработанной схеме (см. п. 4.1.2).

4.2.2 Оценка качества и стабильности готовой продукции

Готовая продукция была проанализирована по комплексу физико-химических и органолептических показателей (таблица 42).

Таблица 42 – Характеристика опытной партии портвейна из сорта «Фиолетовый ранний»

Показатель	Значение	Соответствие требованиям (таблица 41)
Объемная доля этилового спирта, %	$18,4 \pm 0,2$	Соответствует
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	$82,3 \pm 2,1$	Соответствует
Титруемая кислотность, г/дм ³	$5,2 \pm 0,2$	Соответствует
Активная кислотность, ед. pH	$3,52 \pm 0,03$	Соответствует
Летучие кислоты, г/дм ³	$0,68 \pm 0,05$	Соответствует
Общий SO ₂ , мг/дм ³	84 ± 5	Соответствует
Антоцианы, мг/дм ³	133 ± 6	Соответствует
Индекс CA	$0,37 \pm 0,02$	Соответствует
Сотолоновый индекс SI	$1,6 \pm 0,2$	Соответствует стилю Ruby

Сенсорный анализ дал следующие оценки результаты, балл:

- внешний вид: прозрачность – 4,5; цвет – 8,7;
- аромат (букет): чистота – 4,6; интенсивность – 7,2; качество – 14,6;
- вкус: чистота – 5,3; интенсивность – 7,3; послевкусие – 7,4; качество – 19,4;
- гармония/общее впечатление: 9,1.

Общая оценка – 88,1 балла.

Для оценки стабильности при хранении образцы заложены на хранение при температурах 10 °С и 20 °С и проанализированы через 3; 6 и 12 мес. (таблица 43).

Таблица 43 – Динамика показателей при хранении

Показатель	Исходный образец	Продолжительность хранения, мес.				
		3		6		12
		10 °С	20 °С	10 °С	20 °С	10 °С
Массовая концентрация антоцианов, мг/дм ³	133	128	119	124	108	118
Индекс СА	0,37	0,39	0,44	0,41	0,51	0,44
Сотолон, мкг/дм ³	16,2	17,8	24,6	19,4	35,2	22,7
Дегустационная оценка	88,1	86	82	85	76	83

Как видно из таблицы 43, при хранении при 10 °С (рекомендуемая температура) продукт сохраняет высокое качество в течение 12 мес., изменение показателей протекает медленно. При 20 °С динамика показателей ускоряется, и к 6 мес. продукт выходит за рамки стиля Ruby, приобретая признаки стиля Tawny.

4.2.3 Сравнительный анализ сенсорного профиля опытного образца и коммерческих аналогов с использованием разработанной панели дескрипторов

Для объективной оценки органолептических характеристик разработанного портвейна из сорта Фиолетовый ранний (далее – образец А) и выявления его специфических особенностей относительно существующей рыночной продукции проведен сравнительный дескрипторный анализ с использованием разработанной панели (п. 4.1.3). В качестве объектов сравнения были выбраны три коммерческих образца портвейна, представленных на российском рынке:

– образец В1 (крепость 19 %, сахар 96 г/дм³) – представляет собой классический портвейн, произведенный по традиционной технологии с длительной выдержкой в дубовых бочках;

– образец В2 (крепость 18,5 %, сахар 100 г/дм³) – также произведен с использованием классических технологических приемов;

– образец В3 (крепость 18 %, сахар 95 г/дм³) – портвейн произведен из сортов винограда, возделываемых на Таманском полуострове, с применением современных технологических решений.

Дегустация проводилась группой из 11 оценщиков. Образцы кодировали трехзначными цифрами и подавали в случайном порядке при температуре 18–20 °С. Оценку проводили по пятибалльной шкале (0 – не ощущается, 5 – максимальная интенсивность) для каждого дескриптора из разработанной панели. Результаты усредняли и строили профилограммы (рисунок 24).

По совокупности полученных данных можно сделать следующие выводы:

– образец А устроен иначе, чем коммерческие аналоги: различия лежат не в общей интенсивности аромата, а в распределении оценок между группами дескрипторов. Там, где коммерческие образцы опираются на «Темные фрукты» (3,4–3,8) и «Сушеные фрукты» (2,2–2,5), в опытном образце максимальны «Красные ягоды» (4,2) и «Тропические фрукты» (3,6). Заметно сильнее выражена и цветочная часть: «Мускатный» (3,5) против 1,1–2,3 в аналогах – закономерное следствие использования сорта Фиолетовый ранний с его высоким терпеновым потенциалом. Отдельно стоят оценки по дистиллятной группе – «Миндальный» (2,3), «Виноградный спирт» (2,8): они фиксируют вклад винного дистиллята, столь ярко у коммерческих образцов не проявленный;

– коммерческие образцы, напротив, сохраняют классический портвейновый профиль с преобладанием темных фруктов, пряностей и сухофруктов – то, что и следует ожидать от традиционного сортимента при длительной выдержке в дубе;

– общая интенсивность аромата у образца А – 4,7 балла; это уровень лучших коммерческих образцов. Сходство, однако, обманчиво: у коммерческих вин ее обеспечивают «тяжелые» тона выдержки, у опытного образца – выраженная «молодая» фруктово-цветочная составляющая.

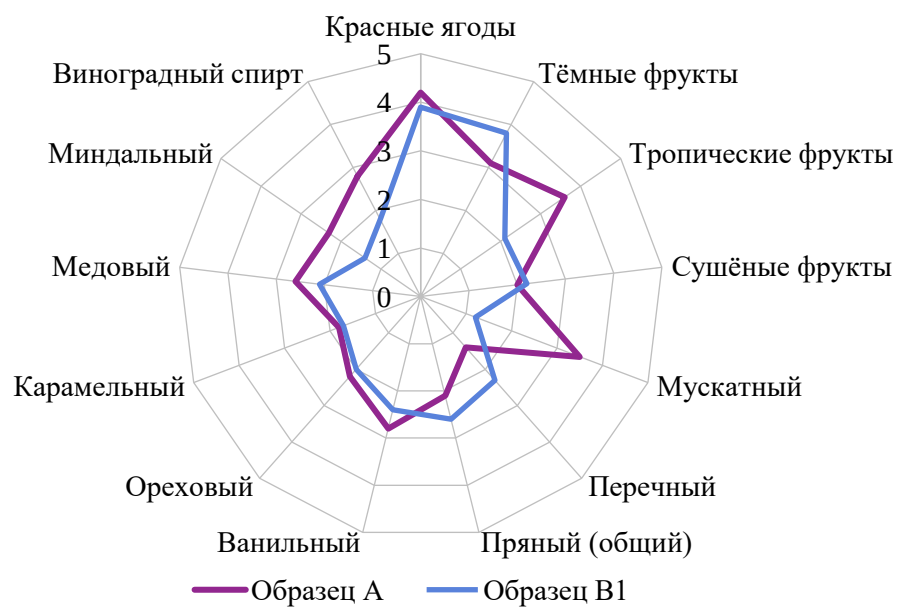
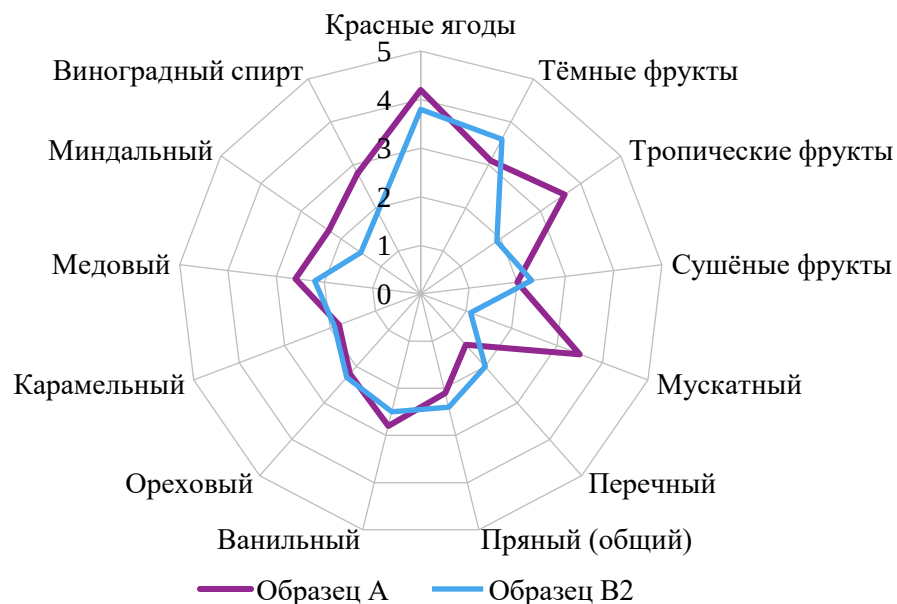
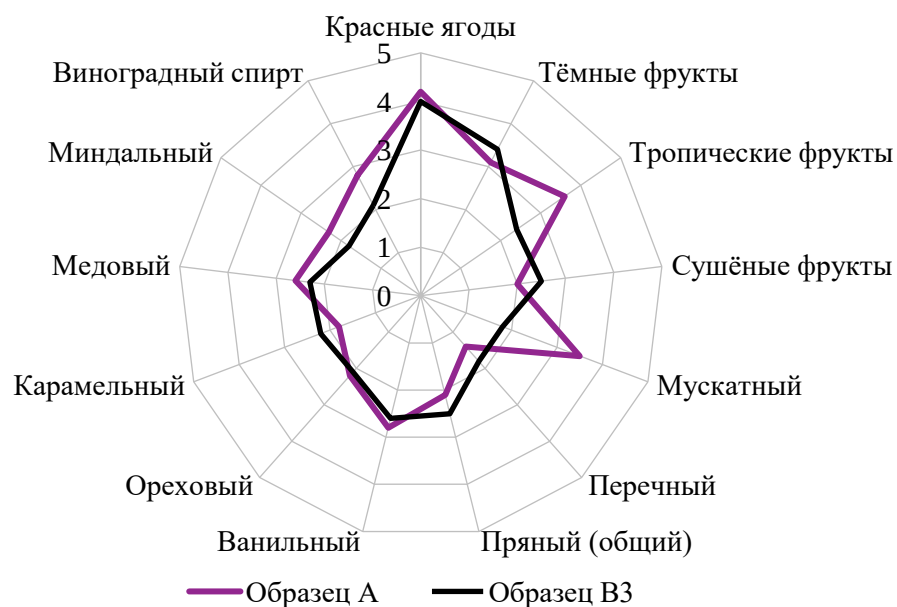


Рисунок 24 – Профилограммы ароматических дескрипторов сравниваемых образцов

Результаты оценки вкусовых дескрипторов, представленные на рисунке 24, свидетельствуют, что кислый вкус у образца А (3,2 балла против 2,4–2,8 у коммерческих аналогов) обусловлен сортовой особенностью сырья, поскольку виноград в прохладном климате созревает с более высокой кислотностью. Такой вкус получается свежее; это не недостаток, а иная – более свежая – стилистика.

Горечи и терпкости у опытного образца меньше, чем в аналогах (таблица 44): на это повлияли как оптимизированные режимы мацерации и микрооксигенации, так и более короткая выдержка, обусловившая более мягкий вкус. Тело и послевкусие, напротив, на уровне лучших коммерческих образцов: экстрактивность достаточная, коллоидная структура сформирована. По сладости и жгучему вкусу достоверных различий между образцами нет – все они остаются в характерном для портвейнов диапазоне.

Таблица 44 – Сравнительная оценка вкусовых и тактильных дескрипторов (средний балл, $n = 11$)

Дескриптор	Образец А	Образец В1	Образец В2	Образец В3
Базовые вкусы				
Сладкий вкус	$4,2 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,3$	$4,2 \pm 0,3$
Кислый вкус	$3,2 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,3$
Горький вкус	$1,8 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$
Тактильные ощущения				
Терпкость	$3,0 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$
Жгучий вкус	$3,1 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,3$
Текстура/тело	$4,0 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,3$	$3,7 \pm 0,3$
Послевкусие	$3,6 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,3$

Внешний вид образцов оценивали органолептически и инструментально (таблица 45). Опытный образец отличается темно-красным цветом с фиолетовым оттенком, что свидетельствует о достаточной сохранности антоцианов. Коммерческие образцы, в частности В1 и В2, имеют более зрелые, гранатовые оттенки, отражающие их более длительную выдержку, что также является вариантом нормы для портвейнов, но в иной стилистике.

Таблица 45 – Сравнительная оценка визуальных характеристик

Показатель	Образец А	Образец В1	Образец В2	Образец В3
Оттенок цвета	Темно-красный с фиолетовым оттенком	Гранатово-рубиновый	Гранатово-рубиновый	Рубиновый
Интенсивность цвета (визуально, 1–5), балл	$3,6 \pm 0,3$	$4,2 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,3$
Интенсивность цвета ($I = D_{420} + D_{520} + D_{620}$)	$5,2 \pm 0,4$	$7,1 \pm 0,4$	$6,9 \pm 0,4$	$7,4 \pm 0,4$
Доля D_{520} (красный компонент), %	38,3	42,6	41,8	44,5
Прозрачность	Прозрачный, блестящий			

Сравнительный анализ с использованием выбранных дескрипторов позволяет сформулировать следующие принципиальные выводы. Опытный образец и коммерческие аналоги находятся в одном качественном диапазоне: все они соответствуют категории портвейнов, ни в одном не выявлено критических дефектов или явных дисбалансов.

Коммерческие образцы В1, В2, В3 характеризуются тонами темных и сухих фруктов, пряностей, нотами длительной дубовой выдержки, – что закономерно для традиционного сортимента.

Образец А имеет выраженные тона красных ягод и тропических фруктов, цветочно-мускатная составляющая, привнесенные винным дистиллятом тона. Органолептические свойства образца А можно интерпретировать технологически: мускатные тона – от сорта Фиолетовый ранний; тропические фрукты – от культуры *M. pulcherrima*; миндальные и дистиллятные ноты – от винного дистиллята; темно-красный цвет – от оптимизированной выдержки с микрооксигенацией.

4.3 Техничко-экономическая оценка разработанной технологии

На основе разработанной технологической схемы и результатов опытной выработки выполнен расчет себестоимости производства 1 дал (10 л) портвейна (таблица 46).

Таблица 46 – Калькуляция себестоимости производства 1 дал портвейна Ruby

Статья затрат	Норма расхода	Цена за 1 ед., р.	Сумма, р.
Сырье и основные материалы			
Виноград сорта Фиолетовый ранний, кг	12	80	960
Винный дистиллят, л б. с.	1,8	450	810
Дрожжи <i>S. cerevisiae</i> , г	4	5	20
Дрожжи <i>M. pulcherrima</i> , г	4	15	60
Дубовая щепа, г	20	2	40
Бентонит, г	20	1	20
Пиросульфит калия	2	3	6
Фильтрующие материалы	–	–	50
<i>Итого сырье и материалы</i>	–	–	1 966
Энергозатраты			
Электроэнергия, кВт·ч	15	6	90
Холод	–	–	80
Вода, м³	0,5	30	15
<i>Итого энергозатраты</i>	–	–	185
Экономические показатели			
Оплата труда с начислениями	–	–	420
Амортизация оборудования	–	–	120
Общепроизводственные расходы	–	–	350
Производственная себестоимость	–	–	3 041
Коммерческие расходы (5 %)	–	–	152
<i>Полная себестоимость</i>	–	–	3 217

Для сравнения: себестоимость аналогичного продукта, произведенного с использованием спирта-ректификата вместо дистиллята, составила бы около 2 320 р. за 1 дал, что на 32 % ниже. Однако, органолептические характеристики такого продукта существенно уступают.

Расчет экономической эффективности проведен исходя из предполагаемой отпускной цены продукта (таблица 47). При определении цены учитывались: себестоимость, качество продукта (подтвержденное дегустационными оценками), цены на аналогичную продукцию в данном ценовом сегменте (премиальные российские портвейны).

Таблица 47 – Показатели экономической эффективности производства портвейна

Показатель	Значение
Годовой объем производства (проектный), дал	1 000
Полная себестоимость 1 дал, р.	3 200
Отпускная цена 1 дал (без НДС), р.	6 000
Выручка от реализации, тыс. р.	6 000
Себестоимость годового выпуска, тыс. р.	3 200
Прибыль от реализации, тыс. р.	2 800
Налог на прибыль (20 %), тыс. р.	560
Чистая прибыль, тыс. р.	2 240
Рентабельность продукции, %	60,5
Рентабельность продаж, %	34,5
Срок окупаемости инвестиций (при объеме инвестиций 3 млн р.), лет	1,34

Показатели экономической эффективности свидетельствуют о высокой рентабельности производства (60,5 %) и быстром сроке окупаемости инвестиций (менее 1,5 лет), что делает разработанную технологию привлекательной для практического внедрения.

Основные риски при внедрении разработанной технологии и пути их минимизации представлены в таблице 48.

Таблица 48 – Оценка рисков и меры по их минимизации

Риск	Вероятность	Последствия	Меры минимизации
Колебания качества сырья по годам (метеоусловия)	Высокая	Снижение качества продукта	Разработка системы приемки сырья по качеству; создание резервных фондов виноматериалов; использование купажирования
Микробиологическая порча в процессе выдержки	Средняя	Потери продукции	Строгое соблюдение санитарных норм; контроль SO ₂ ; обеспечение асептических условий
Сбои в работе оборудования микрооксигенации	Низкая	Нарушение режима выдержки	Регулярное техническое обслуживание; резервное оборудование; ручной контроль
Рост цен на винный дистиллят	Средняя	Увеличение себестоимости	Долгосрочные контракты с поставщиками; возможность частичной замены на ректификат
Изменение потребительских предпочтений	Низкая	Снижение спроса	Гибкая маркетинговая политика; разработка линейки продуктов разного ценового сегмента

4.4 Разработка проекта технической документации

На основе проведенных исследований разработан проект технической документации на производство портвейна из сорта «Фиолетовый ранний»:

- технические условия ТУ 11.01.12.163-001-05151790-2026 «Крепленое вино «Портвейн Алтайский». Технические условия»;
- технологическая инструкция ТИ 11.01.12.163-001-05151790-2026 «Технологическая инструкция по производству крепленого вина «Портвейн Алтайский».

Основные разделы документации включают: область применения; технические требования (характеристики, требования к сырью, маркировка, упаковка); требования безопасности; правила приемки; методы контроля; транспортирование и хранение; технологическая схема производства; описание технологических операций; нормы расхода сырья и материалов; контроль производства.

Заключение по главе 4

1. На основе результатов экспериментальных исследований (глава 3) разработана комплексная биотехнологическая схема производства портвейна типа Ruby из нетрадиционных сортов винограда Алтайского края, включающая обоснованный выбор сырья (базовый сорт «Фиолетовый ранний»), оптимизированные параметры ферментации (последовательное культивирование *M. pulcherrima* и *S. cerevisiae*), режимы портвейнизации (22–24 °С, 3–4 мес., микрооксигенация 4 мг/дм³/мес., дубовая щепа 2 г/дм³) и рекомендации по выбору спиртующего агента (винный дистиллят).

2. Разработана и валидирована специализированная панель из 37 стандартизированных дескрипторов для органолептического профилирования красных портвейнов типа Ruby из нетрадиционных сортов винограда, построенная на принципах сенсорно-химической корреляции, иерархичности, полноты сенсорного охвата и технологической интерпретируемости и охватывающая все сенсорные модальности (орто- и ретроназальный аромат, базовые вкусы, тактильные ощущения, визуальные характеристики) с учетом классификации ароматов по источникам происхождения, включая специфический аромат дистилляции.

3. Проведена успешная апробация разработанной технологии в условиях микровиноделия на опытной партии объемом 380 л. Полученный продукт соответствовал всем регламентируемым показателям качества и получил высокую дегустационную оценку (88,1 баллов из 100). Исследование стабильности при хранении подтвердило сохранность качества в течение не менее 12 мес. при рекомендуемой температуре хранения 10°С.

4. Расчетная себестоимость производства 1 дал продукта составляет 3200 р., отпускная цена – 6000 руб., рентабельность продукции – 60,5 %, срок окупаемости инвестиций – 1,34 года. Идентифицированы основные риски и предложены меры по их минимизации. Разработан проект технической документации (ТУ и ТИ) на

производство портвейна из винограда Фиолетовый ранний, что создает основу для промышленного внедрения разработанной биотехнологии.

Результаты, представленные в главе 4, подтверждают практическую значимость выполненного исследования и готовность разработанной технологии к внедрению в производство.

Заключение

В диссертационной работе на основании теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-практическая задача – научно обоснованы и разработаны биотехнологические приемы регулирования органолептического профиля портвейнов из красных сортов винограда, возделываемых в Алтайском крае. Реализация системного подхода, включающего управление первичным, вторичным, третичным ароматом и вкладом спиртующего агента, позволила создать комплексную технологию, адаптированную к специфике сырья резко континентального климата.

Проведен сравнительный анализ девяти красных сортов (2022–2024 гг.) по сахаристости, титруемой кислотности и сахарокислотному индексу. Кластеризацией выделены четыре группы; наиболее перспективными по базовым физико-химическим показателям признаны сорта первого кластера (Зилга, Памяти Домбковской) с высоким сахаронакоплением (до 191,3 г/дм³) и умеренной кислотностью. Детальный анализ ароматического профиля выявил сортоспецифичные особенности: сорт Фиолетовый ранний – выраженный терпеновый профиль (линалоол 37,3 мкг/дм³; OAV 2,49), высокое эфиробразование (изоамилацетат 2,7 мг/дм³; OAV 90,0); сорт Загадка Шарова – высокое содержание β-дамасцена (1,72 мкг/дм³; OAV 34,4) и этилгексаноата (1,24 мг/дм³; OAV 15,5); сорт Зилга – уникальный «изабельный» тон (метилантранилат 64,6 мкг/дм³; OAV 1,44). Сорт Каберне Северный ввиду преобладания травянистых тонов (метоксипиразины; OAV 1,6) признан малопригодным.

Разработан и апробирован протокол последовательного брожения (*M. pulcherrima*, 72 и 96 ч, затем *S. cerevisiae*). При экспозиции 96 ч достигнуто достоверное увеличение содержания сложных эфиров: изоамилацетата на 24–31 %, этилгексаноата на 20–21 %, 2-фенилэтилацетата в 1,8 раза, а также высвобождение связанных терпенов (линалоола в 1,6 раза). Сенсорный анализ подтвердил повышение общей интенсивности аромата (с 3,9 до 4,6 балла) и гармоничности (с 3,7 до

4,3 балла). Наиболее выраженный эффект отмечен для сорта Фиолетовый ранний, что, вероятно, свидетельствует о синергизме сортовых особенностей и метаболической активности *M. pulcherrima*.

В многофакторном эксперименте изучена кинетика деградации антоцианов. Подтверждено, что процесс подчиняется кинетике первого порядка; рассчитаны константы скорости ($2,91\text{--}22,84 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$) и периоды полупревращения (992–126 сут). Энергии активации составили 31,3–36,3 кДж/моль. Исследована динамика маркеров третичного аромата: фурановых альдегидов, сотолона, ацеталей. Предложены и обоснованы интегральные индексы: индекс фуранового возраста (*FAI*) и сотолоновый индекс (*SI*). На основе корреляционного анализа предложен комплексный индекс эволюции портвейна (*PWEI*) с весовыми коэффициентами, определенными комбинированным методом (экспертная оценка и метод главных компонентов). Высокое значение коэффициента корреляции *PWEI* с сенсорной оценкой ($r = 0,96$; $p < 0,001$) подтверждает его адекватность.

Разработана и валидирована панель из 37 дескрипторов для органолептической оценки портвейнов, основанная на принципе сенсорно-химической корреляции ($r = 0,72\text{--}0,91$; $p < 0,01$) и характеризующаяся высокой воспроизводимостью (коэффициент вариации менее 12 %) и дискриминантной способностью. Сформирован эталонный сенсорный профиль портвейна из винограда Фиолетовый ранний, выращиваемого в Алтайском крае.

5. Разработана комплексная биотехнологическая схема производства портвейна. Определены оптимальные режимы портвейнизации для стиля Ruby: температура 22–24 °С, продолжительность 3–4 мес., доза кислорода 4 мг O₂/дм³ в месяц, дубовая щепа 2 г/дм³. Режим обеспечивает сохранность β-дамасцена на уровне не менее 90 %, сотолоновый индекс $SI \leq 2,0$, индекс химического возраста $CA \geq 0,30$, содержание антоцианов не менее 130 мг/дм³.

Список литературы

1. Агеева, Н. М. Влияние дрожжей-сахаромицетов, выделенных из спонтанной микрофлоры винограда, на химический состав красного столового вина / Н. М. Агеева, М. Г. Марковский, А. В. Прах [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2017. – № 2–3 (356–357). – С. 23–28. – EDN ZAUJXH.
2. Агеева, Н. М. Влияние микрооксидации суслу и мезги на физико-химические показатели виноматериалов / Н. М. Агеева, А. В. Прах, А. А. Ширшова [и др.] // Современные проблемы и прогрессивные направления развития науки : сб. ст. Междунар. науч. конф. (Омск, 24 мая 2023 г.). – Санкт-Петербург : Нацразвитие, 2023. – С. 31–34. – DOI 10.37539/230524.2023.93.52.003. – EDN XZTVNB.
3. Агеева, Н. М. Исследование склонности фенольных веществ виноматериалов и вин из винограда сорта Каберне Совиньон к окислению / Н. М. Агеева, А. В. Прах, А. А. Ширшова [и др.] // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2023. – № 84 (6). – С. 162–177. – EDN CVCJSL.
4. Агеева, Н. М. Исследование технологических свойств новых штаммов винных дрожжей, выделенных из спонтанной микрофлоры винограда / Н. М. Агеева, А. В. Прах, А. И. Насонов, И. И. Супрун // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2018. – № 52 (4). – С. 110–122. – DOI 10.30679/2219-5335-2018-4-52-110-122. – EDN UUAXJV.
5. Агеева, Н. М. О производстве ликерных вин из новых красных сортов винограда / Н. М. Агеева, Е. Н. Якименко, Б. В. Бурцев // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2020. – № 62 (2). – С. 149–163. – DOI 10.30679/2219-5335-2020-2-62-149-163. – EDN ILJHKO.
6. Агеева, Н. М. Создание винодельческой продукции прогнозируемого качества / Н. М. Агеева, Т. И. Гугучкина, Е. Н. Гонтарева [и др.] // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-ис-

следовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2017. – Т. 12. – С. 183–188. – EDN YSTUPD.

7. Апарнева, М. А. Качество винных напитков из красных сортов винограда Алтайского края / М. А. Апарнева, В. П. Севодин // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 4 (31). – С. 31–34. – EDN RNIEJX.

8. Апарнева, М. А. Повышение экстрактивности виноматериалов для напитков типа кагор из винограда Алтайского края / М. А. Апарнева, Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников // Пища. Экология. Качество : труды XIV Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 8–10 ноября 2017 г.) : в 2 т. – Новосибирск : Золотой колос, 2017. – Т. 1. – С. 49–54. – EDN QGESWX.

9. Апарнева, М. А. Технологическая оценка красных сортов винограда, культивируемых на Алтае / М. А. Апарнева, В. П. Севодин // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 2 (29). – С. 107–111. – EDN QANQUJ.

10. Бастрон, Е. В. Системный подход к разработке схемы категорийной классификации портвейнов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Бастрон Елена Владимировна. – Кемерово, 2016. – 151 с. – EDN LZWEZK.

11. Бурцев, Б. В. Влияние спиртующего агента на критерии качества ликерных вин портвейн / Б. В. Бурцев, Т. И. Гугучкина // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства. – 2017. – Т. 13. – С. 138–142. – EDN ZMWFTB.

12. Ганич, В. А. Изучение донских аборигенных сортов винограда при климатических изменениях в Ростовской области / В. А. Ганич, Л. Г. Наумова, Л. Ю. Новикова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 3. – С. 17–21. – DOI 10.30850/vrsn/2022/3/17-21. – EDN BDUSPF.

13. Глоба, Е. В. Технологическая оценка интродуцированного сорта винограда Анчеллотта как сырья для выработки красных вин / Е. В. Глоба, Т. И. Гугучкина, Л. Г. Влащик // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2017. – № 4 (45). – С. 67–70. – EDN ZPFGKD.

14. Гусейнов, М. А. Оценка технологического соответствия энокарпологическим и энохимическим показателям сортопопуляций некоторых технических и универсальных сортов винограда / М. А. Гусейнов, А. С. Гусейнова, В. С. Салимов [и др.] // АПК России. – 2022. – Т. 29, № 3. – С. 313–320. – DOI 10.55934/2587-8824-2022-29-3-313-320. – EDN LAEFEL.

15. Дергунов, А. В. Влияние сорта винограда и природы спирта на качество красных ликерных вин / А. В. Дергунов // Русский виноград. – 2016. – Т. 4. – С. 214–220. – EDN XHWMKP.

16. Дергунов, А. В. Воздействие процессов выдержки на качество красных ликерных вин, спиртованных различными агентами / А. В. Дергунов // Виноделие и виноградарство. – 2016. – № 3. – С. 9–13. – EDN WFSBFN.

17. Иукуридзе, Э. Ж. Влияние бутылочной выдержки на динамику качественных показателей вин контролируемых наименований по происхождению / Э. Ж. Иукуридзе, О. Б. Ткаченко, Т. С. Сугаченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – Т. 6, № 3 (32). – С. 27–31. – DOI 10.15587/2312-8372.2016.86506. – EDN XHWHXCR.

18. Калмыкова, Е. Н. Биохимический состав виноматериалов для приготовления вин типа портвейн из белых гибридных сортов винограда / Е. Н. Калмыкова, Т. В. Гапонова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2021. – № 69 (3). – С. 316–325. – DOI 10.30679/2219-5335-2021-3-69-316-325. – EDN MYYQRR.

19. Калмыкова, Е. Н. Качество вин с остаточным сахаром в зависимости от технологии / Е. Н. Калмыкова, Н. Н. Калмыкова, Т. В. Гапонова // Русский виноград. – 2024. – Т. 29. – С. 59–62. – DOI 10.32904/2712-8245-2024-29-59-62. – EDN HKBNJS.

20. Калмыкова, Н. Н. Влияние бутылочной выдержки на качественные показатели вин из сортов винограда межвидового происхождения / Н. Н. Калмыкова, Е. Н. Калмыкова, Т. В. Гапонова // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 11 (176). – С. 212–218. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-11-212-218. – EDN QWJDLB.

21. Калмыкова, Н. Н. Особенности переработки винограда из новых морозоустойчивых сортов раннего срока созревания для получения ликерных вин типа

«Херес» / Н. Н. Калмыкова, Т. В. Гапонова, Е. Н. Калмыкова // Русский виноград. – 2016. – Т. 3. – С. 167–172. – EDN VTLMER.

22. Киселева, Т. Ф. Рынок специальных вин в России на примере портвейнов. Часть 1 / Т. Ф. Киселева, Е. В. Бастрон, В. М. Киселев // Виноделие и виноградарство. – 2015. – № 1. – С. 7–10. – EDN TJXHWТ.

23. Киселева, Т. Ф. Рынок специальных вин в России на примере портвейнов. Часть 2 / Т. Ф. Киселева, Е. В. Бастрон, В. М. Киселев // Виноделие и виноградарство. – 2015. – № 2. – С. 4–7. – EDN UMWQUT.

24. Киселева, Т. Ф. Факторы, формирующие вкусоароматические параметры портвейнов / Т. Ф. Киселева, В. М. Киселев, Ю. Ю. Миллер, В. А. Помозова // Пищевая промышленность. – 2025. – № 1. – С. 40–46. – DOI 10.52653/PPI.2025.1.1.008. – EDN EOVZVN.

25. Луткова, Н. Ю. Селекция перспективных штаммов дрожжей для производства терруарных вин / Н. Ю. Луткова, М. Ю. Шаламитский, К. А. Семенова, В. И. Загоруйко // Магарац. Виноградарство и виноделие. – 2024. – Т. 26, № 2 (128). – С. 176–182. – EDN RZDACW.

26. Магомедова, Е. С. Совместная ферментация дрожжей *Lachancea thermotolerans* и *Saccharomyces cerevisiae* – влияние на образование компонентов, формирующих качество вин / Е. С. Магомедова, Д. А. Абдуллабекова, Д. А. Аливердиева [и др.] // Магарац. Виноградарство и виноделие. – 2024. – Т. 26, № 2 (128). – С. 183–189. – EDN SSYEKJ.

27. Макаров, А. С. Особенности показателей перспективных красных сортов винограда для производства виноматериалов / А. С. Макаров, А. Я. Яланецкий, Н. А. Шмигельская [и др.] // Русский виноград. – 2019. – Т. 9. – С. 124–130. – DOI 10.32904/2412-9836-2019-9-124-130. – EDN XWDZKR.

28. Матвеева, Н. В. Ликерные вина из новых сортов селекции ВНИИВиВ – филиал ФГБНУ Франц / Н. В. Матвеева, М. В. Бахметова // Русский виноград. – 2025. – Т. 31. – С. 59–63. – DOI 10.32904/2712-8245-2025-31-59-63. – EDN JXCZSJ.

29. Матвеева, Н. В. Сорта винограда селекции ВНИИВиВ им. Я. И. Потапенко для производства красных ликерных вин / Н. В. Матвеева, М. В. Бахметова

// Русский виноград. – 2020. – Т. 14. – С. 74–79. – DOI 10.32904/2712-8245-2020-14-74-79. – EDN CGNNYR.

30. Михайленко, Д. О. Перспективы использования несахаромицетных дрожжей в виноделии / Д. О. Михайленко, А. В. Горовцов, В. А. Чистяков // Пищевая промышленность. – 2025. – № 2. – С. 65–69. – DOI 10.52653/PPI.2025.2.2.013. – EDN TVBABU.

31. Пак, Ю. В. Новый винный напиток мадера из виноматериалов красного винограда французских сортов / Ю. В. Пак, Н. К. Шелковская // Ползуновский вестник. – 2024. – № 1. – С. 126–133. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.015. – EDN OSPADY.

32. Пескова, И. В. Аспекты использования дрожжей не-*Saccharomyces* в виноделии / И. В. Пескова // Магарач. Виноградарство и виноделие. – 2021. – Т. 23, № 2 (116). – С. 190–200. – DOI 10.35547/IM.2021.23.2.014. – EDN GSNPEI.

33. Печенина, А. А. Оценка качества белых сортов винограда, культивируемых на Алтае / А. А. Печенина, В. П. Севодин // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 3 (30). – С. 129–132. – EDN RBDIVT.

34. Портвейн возвращается // Роскачество: портал для умного потребителя. – 2024. – URL: <https://rskrf.ru/news/portveyn-vozvrashchaetsya/> (дата обращения: 29.11.2024).

35. Радчевский, П. П. Особенности проявления агробиологических и технологических показателей у трехлетних кустов темноягодных технических сортов винограда при возделывании в неукрывной культуре в Центральной зоне Кубани / П. П. Радчевский, М. М. Закирова, Д. Е. Хлевный [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 166. – С. 112–129. – DOI 10.21515/1990-4665-166-011. – EDN TODAZY.

36. Рашидов, Н. Д. Фитоклиматические параметры виноградного куста в зависимости от агроэкологических условий / Н. Д. Рашидов, С. М. Гулов, Д. Г. Масадидов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 9 (191). – С. 17–23. – EDN JNUGHС.

37. Рожнов, Е. Д. Влияние микрооксигенации в процессе выдержки на органолептическое восприятие красных виноградных вин / Е. Д. Рожнов, А. А. Неклюдов, М. Н. Школьников // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2024. – № 4 (397). – С. 31–36. – DOI 10.26297/0579-3009.2024.4.5. – EDN FRIXRE.

38. Руденко, А. С. Выявление оптимальных рецептур органического виноградаодержащего напитка на основе амурского винограда в условиях микровиноделия / А. С. Руденко, О. М. Завалишина, Н. К. Шелковская // Ползуновский вестник. – 2022. – № 4-1. – С. 78–85. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.009. – EDN AUODNH.

39. Рыбалко, Е. А. Оценка виноградо-винодельческих районов Крыма по климатическим факторам, а также их влияния на качественные характеристики винограда / Е. А. Рыбалко, С. Н. Червяк, М. В. Ермихина // Siberian journal of life sciences and agriculture. – 2023. – Т. 15, № 5. – С. 246–263. – DOI 10.12731/2658-6649-2023-15-5-936. – EDN ORXPHR.

40. Севодина, К. В. Красные вина из винограда сорта Дорнфельдер, выращенного в условиях Алтайского края / К. В. Севодина, В. И. Шестернин, М. Н. Школьников [и др.] // Виноделие и виноградарство. – 2014. – № 6. – С. 23–25. – EDN TJUNIX.

41. Семенова, К. А. Апробация дрожжей несакхаромицетов ампелоценозов Крыма в виноделии / К. А. Семенова, М. Ю. Шаламитский, Н. Ю. Луткова, В. И. Загоруйко // Магарах. Виноградарство и виноделие. – 2024. – Т. 26, № 4 (130). – С. 403–407. – EDN UHOVPU.

42. Харламова, Л. Н. Влияние отдельных показателей физико-химического состава красных виноматериалов на процесс вторичного брожения / Л. Н. Харламова, Е. В. Дубинина, В. А. Трофимченко [и др.] // Пиво и напитки. – 2020. – № 4. – С. 33–37. – DOI 10.24411/2072-9650-2020-10042. – EDN VAKGDQ.

43. Чалдаев, П. А. Влияние штамма дрожжей на качество виноградного виноматериала / П. А. Чалдаев, А. Г. Кашаев, А. Е. Леучев, С. С. Малышкин // Изве-

ствия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – № 4 (364). – С. 18–21. – DOI 10.26297/0579-3009.2018.4.4. – EDN UYYLXW.

44. Шелковская, Н. К. Столовые вина из винограда французских сортов, выращенного в условиях предгорной зоны Алтайского края / Н. К. Шелковская, В. А. Вагнер // Ползуновский вестник. – 2020. – № 3. – С. 31–34. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.005. – EDN GBNOFY.

45. Шелудько, О. Н. Влияние винных и виноградных спиртов на качество напитков из виноградного сырья / О. Н. Шелудько, А. В. Прах, Л. Э. Чемисова, Р. Н. Бахметов // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – Т. 54, № 1. – С. 18–26. – DOI 10.21603/2074-9414-2024-1-2484. – EDN WSJYHL.

46. Шестернин, В. И. Влияние кислотности на качество вин из винограда Загадка Шарова / В. И. Шестернин, Е. Д. Рожнов, В. П. Севодин // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 4 (31). – С. 95–98. – EDN RNIEOX.

47. Шестернин, В. И. Влияние температуры на цвет красных винных напитков при контакте с воздухом / В. И. Шестернин, Г. И. Севодина, М. А. Апарнева, В. П. Севодин // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 4 (35). – С. 75–81. – EDN TGSKWT.

48. Школьников, М. Н. Оценка качества винных напитков типа Кагор, произведенных из винограда Алтайского края / М. Н. Школьников, М. А. Апарнева, Е. Д. Рожнов // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 1 (136). – С. 140–147. – EDN YOSPCX.

49. Якименко, Е. Н. О возможности применения гибридных сортов винограда в технологии портвейнов / Е. Н. Якименко, Н. М. Агеева, Б. В. Бурцев, С. А. Бирюкова // Виноделие и виноградарство. – 2019. – № 1. – С. 42–47. – EDN FZFFGY.

50. Abreu, T. The flavor chemistry of fortified wines – a comprehensive approach / T. Abreu, R. Perestrelo, J. S. Camara [et al.] // Foods. – 2021. – Vol. 10, iss. 6. – Art. 1239. – DOI 10.3390/foods10061239.

51. Alexandre, H. Bioprotection in winemaking / H. Alexandre, M. Puyo, R. Tourdot-Maréchal // New advances in *Saccharomyces*. – London : IntechOpen, 2023. – P. 135–158. – DOI 10.1007/s11306-014-0638-x.

52. Amaro, F. Impact of cork closures on the volatile profile of sparkling wines during bottle aging / F. Amaro, J. Almeida, A. S. Oliveira [et al.] // *Foods*. – 2022. – Vol. 11. – Art. 293. – DOI 10.3390/foods11030293.

53. Arapitsas, P. The influence of storage on the ‘chemical age’ of red wines / P. Arapitsas, G. Speri, A. Angeli [et al.] // *Metabolomics*. – 2014. – Vol. 10, iss. 5. – P. 816–832. – DOI 10.1007/s11306-014-0638-x.

54. Azevedo, J. Migration of phenolic compounds from different cork stoppers to wine model solutions: antioxidant and biological relevance / J. Azevedo, I. Fernandes, P. Lopes [et al.] // *European food research and technology*. – 2014. – Vol. 239. – P. 951–960. – DOI 10.1007/s00217-014-2292-y.

55. Bakker, J. The determination of anthocyanins in aging red wines: comparison of HPLC and spectral methods / J. Bakker, N. W. Preston, C. F. Timberlake // *American journal of enology and viticulture*. – 1986. – Vol. 37. – P. 121–126. – DOI 10.5344/ajev.1986.37.2.121.

56. Bakker, J. Two methods of port vinification: a comparison of changes during fermentation and of characteristics of the wines / J. Bakker, S. J. Bellworthy, T. A. Hogg [et al.] // *American journal of enology and viticulture*. – 1996. – Vol. 47, iss. 1. – P. 37–41. – DOI 10.5344/ajev.1996.47.1.37.

57. Bakker, J. *Wine: flavour chemistry* / J. Bakker, R. J. Clarke. – 2nd ed. – Oxford : Wiley-Blackwell, 2011. – 448 p. – ISBN 978-1-4443-3042-7.

58. Blanco, P. Evaluation of autochthonous non-*Saccharomyces* yeasts by sequential fermentation for wine differentiation in Galicia (NW Spain) / P. Blanco, D. Castrillo, M. J. Grana [et al.] // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7, iss. 3. – Art. 183. – DOI 10.3390/fermentation7030183.

59. Borren, E. The important contribution of non-*Saccharomyces* yeasts to the aroma complexity of wine: a review / E. Borren, B. Tian // *Foods*. – 2020. – Vol. 10, iss. 1. – Art. 13. – DOI 10.3390/foods10010013.

60. Boulet, J. C. Ultraviolet spectroscopy study of phenolic substances and other major compounds in red wines: relationship between astringency and the concentration

of phenolic substances / J. C. Boulet, M. A. Ducasse, V. Cheynier // Australian journal of grape and wine research. – 2017. – Vol. 23. – P. 193–199. – DOI 10.1111/ajgw.12265.

61. Bowen, A. J. Odor potency of aroma compounds in Riesling and Vidal Blanc table wines and icewines by gas chromatography–olfactometry–mass spectrometry / A. J. Bowen, A. G. Reynolds // Journal of agricultural and food chemistry. – 2012. – Vol. 60, iss. 11. – P. 2874–2883. – DOI 10.1021/jf203314j.

62. Câmara, J. S. 3-Hydroxy-4, 5-dimethyl-2(5H)-furanone levels in fortified Madeira wines: relationship to sugar content / J. S. Câmara, J. C. Marques, M. A. Alves, A. C. Silva Ferreira // Journal of agricultural and food chemistry. – 2004. – Vol. 52, iss. 22. – P. 6765–6769. – DOI 10.1021/jf049547d.

63. Canonico, L. *Metschnikowia pulcherrima* as biocontrol agent and wine aroma enhancer in combination with a native *Saccharomyces cerevisiae* / L. Canonico, A. Agarbati, E. Galli [et al.] // LWT. – 2023. – Vol. 181. – Art. 114758. – DOI 10.1016/j.lwt.2023.114758.

64. Carpena, M. Wine aging technology: fundamental role of wood barrels / M. Carpena, A. G. Pereira, M. A. Prieto, J. Simal-Gandara // Foods. – 2020. – Vol. 9, iss. 9. – Art. 1160. – DOI 10.3390/foods9091160.

65. Castro, C. C. Application of a high-throughput process analytical technology metabolomics pipeline to Port wine forced ageing process / C. C. Castro, R. C. Martins, J. A. Teixeira, A. C. Silva Ferreira // Food chemistry. – 2014. – Vol. 143. – P. 384–391. – DOI 10.1016/j.foodchem.2013.07.138.

66. Cerdán, T. G. Volatile composition of aged wine in used barrels of French oak and of American oak / T. G. Cerdán, S. R. Mozaz, C. A. Azpilicueta // Food research international. – 2002. – Vol. 35, iss. 7. – P. 603–610. – DOI 10.1016/S0963-9969(01)00151-X.

67. Cernîșev, S. Analysis of lignin-derived phenolic compounds and their transformations in aged wine distillates / S. Cernîșev // Food control. – 2017. – Vol. 73. – P. 281–290. – DOI 10.1016/j.foodcont.2016.08.015.

68. Chen, L. Strategies for the identification and sensory evaluation of volatile constituents in wine / L. Chen, P. Darriet // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. – 2021. – Vol. 20, iss. 5. – P. 4549–4583. – DOI 10.1111/1541-4337.12810.

69. Ciani, M. Yeast interactions in multi-starter wine fermentation / M. Ciani, F. Comitini // *Current opinion in food science*. – 2015. – Vol. 1. – P. 1–6. – DOI 10.1016/j.cofs.2014.07.001.

70. Cutzach, I. Influence of storage conditions on the formation of some volatile compounds in white fortified wines (Vins doux naturels) during the aging process / I. Cutzach, P. Chatonnet, D. Dubourdieu // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2000. – Vol. 48, iss. 6. – P. 2340–2345. – DOI 10.1021/jf9913209.

71. Danilewicz, J. C. Review of reaction mechanisms of oxygen and proposed intermediates reduction products in wine: central role of iron and copper / J. C. Danilewicz // *American journal of enology and viticulture*. – 2003. – Vol. 54, iss. 2. – P. 73–85. – DOI 10.5344/ajev.2003.54.2.73.

72. Day, M. P. Use and impact of oxygen during winemaking / M. P. Day, S. A. Schmidt, P. A. Smith [et al.] // *Australian journal of grape and wine research*. – 2015. – Vol. 21, suppl. 1. – P. 693–704. – DOI 10.1111/ajgw.12199.

73. de Almeida Lima, U. Influence of fast and slow distillation on ethyl carbamate content and on coefficient of non-alcohol components in Brazilian sugarcane spirits / U. de Almeida Lima, C. G. Teixeira, J. C. Bertozzi [et al.] // *Journal of the Institute of Brewing*. – 2012. – Vol. 118, iss. 3. – P. 305–308. – DOI 10.1002/jib.42.

74. De Freitas, V. A review of the current knowledge of red wine colour / V. de Freitas, A. Fernandes, J. Oliveira [et al.] // *OENO One*. – 2017. – Vol. 51. – P. 155–162. – DOI 10.20870/oeno-one.2017.51.1.1604.

75. De Freitas, V. Structural features of procyanidin interactions with salivary proteins / V. De Freitas, N. Mateus // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2001. – Vol. 49. – P. 940–945. – DOI 10.1021/jf000981z.

76. De Rosso, M. Monoglucoside versus diglucoside anthocyanin evolution of red wine produced using a fungus-resistant grape cultivar (downy mildew and powdery mildew) under oxidative conditions / M. De Rosso, M. Gardiman, R. Carraro [et al.] // *Jour-*

nal of agricultural and food chemistry. – 2024. – Vol. 72, iss. 13. – P. 7383–7396. – DOI 10.1021/acs.jafc.3c09668.

77. Deshaies, S. Red wine oxidation: accelerated ageing tests, possible reaction mechanisms and application to Syrah red wines / S. Deshaies, G. Cazals, C. Enjalbal [et al.] // Antioxidants. – 2020. – Vol. 9, iss. 8. – Art. 663. – DOI 10.3390/antiox9080663.

78. Dóka, O. Quantification of total polyphenol content in wine lees by conventional optical and photoacoustic spectroscopy / O. Dóka, G. Ficzek, G. Simon [et al.] // OENO One. – 2023. – Vol. 57, iss. 2. – P. 257–264. – DOI 10.20870/oeno-one.2023.57.2.7178.

79. dos Santos, C. P. Chemical diversity and influence of plant age on the essential oil from *Lippia sidoides* Cham. germplasm / C. P. dos Santos, T. C. de Oliveira, J. A. O. Pinto [et al.] // Industrial crops and products. – 2015. – Vol. 76. – P. 416–421. – DOI 10.1016/j.indcrop.2015.07.017.

80. du Toit, W. Oxygen in must and wine: a review / W. du Toit, J. Marais, I. Pretorius, M. Du Toit // South African journal of enology and viticulture. – 2006. – Vol. 27, iss. 1. – P. 76–94. – DOI 10.21548/27-1-1610.

81. Erdal, A. A kinetic approach to explain hydroxymethylfurfural and furfural formations induced by Maillard, caramelization, and ascorbic acid degradation reactions in fruit juice-based mediums / A. Erdal // Food analytical methods. – 2022. – Vol. 15. – P. 1286–1299. – DOI 10.1007/s12161-021-02214-x.

82. Escudero, A. Isolation and identification of odorants generated in wine during its oxidation: a gas chromatography-olfactometric study / A. Escudero, J. Cacho, V. Ferreira // European food research and technology. – 2000. – Vol. 211. – P. 105–110. – DOI 10.1007/s002179900128.

83. Fataliyev, H. Determination of the influence of certain factors on the quality of marsala wines / H. Fataliyev, İ. Huseynova, N. Q. Hüseyinov, S. Fataliyeva // Food science & technology. – 2026. – Vol. 20, iss. 2. – P. 113–123. – DOI 10.15673/fst.v20i2.3457.

84. Ferreira, A. C. S. Nor-isoprenoids profile during port wine ageing – influence of some technological parameters / A. C. S. Ferreira, P. G. De Pinho // Analytica chimica acta. – 2004. – Vol. 513, iss. 1. – P. 169–176. – DOI 10.1016/j.aca.2003.12.027.

85. Ferreira, A. C. S. Sensorial impact of sotolon as the ‘perceived age’ of aged Port wine / A. C. S. Ferreira, I. M. L. B. Avila, P. G. de Pinho // *Natural flavors and fragrances: chemistry, analysis, and production* / ed. C. Frey, R. Rouseff. – Washington, D. C. : American chemical society, 2005. – P. 141–159. – DOI 10.1021/bk-2005-0908.ch010.
86. Ferreira, A. C. S. Study of major aromatic compounds in port wines from carotenoid degradation / A. C. S. Ferreira, J. Monteiro, C. Oliveira, P. G. de Pinho // *Food chemistry*. – 2008. – Vol. 110, iss. 1. – P. 83–87. – DOI 10.1016/j.foodchem.2008.01.069.
87. Fleet, G. H. Yeast interactions and wine flavour / G. H. Fleet // *International Journal of food microbiology*. – 2003. – Vol. 86, iss. 1–2. – P. 11–22. – DOI 10.1016/S0168-1605(03)00245-9.
88. Ge, X. Evaluation of indigenous yeasts screened from Chinese vineyards as potential starters for improving wine aroma / X. Ge, J. Wang, X. Wang [et al.] // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, iss. 16. – Art. 3073. – DOI 10.3390/foods12163073.
89. Gomez-Plaza, E. A review on micro-oxygenation of red wines: claims, benefits and the underlying chemistry / E. Gomez-Plaza, M. Cano-Lopez // *Food chemistry*. – 2011. – Vol. 125, iss. 4. – P. 1131–1140. – DOI 10.1016/j.foodchem.2010.10.034.
90. Gomez-Plaza, E. Emerging technologies for aging wines: use of chips and micro-oxygenation / E. Gomez-Plaza, A. B. Bautista-Ortín // *Red wine technology* / ed. A. Morata. – Amsterdam : Academic Press, 2019. – P. 149–162. – DOI 10.1016/B978-0-12-814399-5.00010-4.
91. Guerreiro, J. R. L. A saliva molecular imprinted localized surface plasmon resonance biosensor for wine astringency estimation / J. R. L. Guerreiro, N. Teixeira, V. De Freitas [et al.] // *Food chemistry*. – 2017. – Vol. 233. – P. 457–466. – DOI 10.1016/j.foodchem.2017.04.051.
92. He, F. Anthocyanins and their variation in red wines. II. Anthocyanin derived pigments and their color evolution / F. He, N.-N. Liang, L. Mu [et al.] // *Molecules*. – 2012. – Vol. 17. – P. 1483–1519. – DOI 10.3390/molecules17021483.

93. Hensel, M. Specification and simplification of analytical methods to determine wine color / M. Hensel, S. Di Nonno, Y. Mayer [et al.] // Processes. – 2022. – Vol. 10, iss. 12. – Art. 2707. – DOI 10.3390/pr10122707.

94. Hoffman, T. Evaluation of the key odorants in a thermally treated solution of ribose and cysteine by aroma extract dilution techniques / T. Hoffman, P. Schieberle // Journal of agricultural and food chemistry. – 1995. – Vol. 43. – P. 2187–2194. – DOI 10.1021/jf00056a042.

95. Johnson, J. B. A study of the UV spectral features in wine and their correlation with phenolic constituents / J. B. Johnson, R. Timofeev, A. Kazak [et al.] // Frontiers in Bioscience (Elite edition). – 2024. – Vol. 16, iss. 2. – Art. 16. – DOI 10.31083/j.fbe1602016.

96. Jordi, G. Comparative study of volatile substances and ellagitannins released into wine by *Quercus pyrenaica*, *Quercus petraea* and *Quercus alba* barrels / G. Jordi, P. Cabanillas, A. Mena [et al.] // OENO One. – 2022. – Vol. 56, iss. 3. – P. 243–255. – DOI 10.20870/oeno-one.2022.56.3.5551.

97. Kilmartin, P. A. The oxidation of red and white wines and its impact on wine aroma / P. A. Kilmartin // Chemistry in New Zealand. – 2009. – Vol. 73. – P. 18–22.

98. Lasanta, C. Influence of prefermentative cold maceration on the chemical and sensory properties of red wines produced in warm climates / C. Lasanta, C. Cejudo, J. Gómez, I. Caro // Processes. – 2023. – Vol. 11, iss. 2. – Art. 374. – DOI 10.3390/pr11020374.

99. Lavigne, V. Changes in the sotolon content of dry white wines during barrel and bottle aging / V. Lavigne, A. Pons, P. Darriet, D. Dubourdieu // Journal of agricultural and food chemistry. – 2008. – Vol. 56, iss. 8. – P. 2688–2693. – DOI 10.1021/jf072336z.

100. Liu, Y. Reaction kinetics of the acetaldehyde-mediated condensation between (–)-epicatechin and anthocyanins and their effects on the color in model wine solutions / Y. Liu, X.-K. Zhang, Y. Shi [et al.] // Food chemistry. – 2019. – Vol. 283. – P. 315–323. – DOI 10.1016/j.foodchem.2018.12.135.

101. Lopes, P. Impact of oxygen dissolved at bottling and transmitted through closures on the composition and sensory properties of a Sauvignon Blanc wine during bottle storage / P. Lopes, M. A. Silva, A. Pons [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2009. – Vol. 57, iss. 21. – P. 10261–10270. – DOI 10.1021/jf9023257.

102. Lopes, P. Impact of storage position on oxygen ingress through different closures into wine bottles / P. Lopes, C. Saucier, P. L. Teissedre, Y. Glories // Journal of agricultural and food chemistry. – 2006. – Vol. 54, iss. 18. – P. 6741–6746. – DOI 10.1021/jf0614239.

103. Lopez-Enriquez, L. Non-*Saccharomyces* yeasts from organic vineyards as spontaneous fermentation agents / L. Lopez-Enriquez, J. Vila-Crespo, J. M. Rodriguez-Nogales [et al.] // Foods. – 2023. – Vol. 12, iss. 19. – Art. 3644. – DOI 10.3390/foods12193644.

104. Mansfield, A. K. Identification of odor-impact compounds in red table wines produced from Frontenac grapes / A. K. Mansfield, J. P. Schirle-Keller, G. A. Reineccius // American journal of enology and viticulture. – 2011. – Vol. 62, iss. 2. – P. 169–176. – DOI 10.5344/ajev.2011.10067.

105. Marković, T. Red wine aging in oak barrels: the influence of toasting levels on aromatic profile, phenolic composition, and sensory properties / T. Marković // Beverages. – 2025. – Vol. 11, iss. 6. – Art. 165. – DOI 10.3390/beverages11060165.

106. Martins, R. C. Port wine oxidation management: a multiparametric kinetic approach / R. C. Martins, A. R. Monforte, A. Silva Ferreira // Journal of agricultural and food chemistry. – 2013. – Vol. 61, iss. 22. – P. 5371–5379. – DOI 10.1021/jf4005109.

107. Mateus, N. Evolution and stability of anthocyanin-derived pigments during Port Wine aging / N. Mateus, V. de Freitas // Journal of agricultural and food chemistry. – 2001. – Vol. 49. – P. 5217–5222. – DOI 10.1021/jf0106547.

108. McDermott, J. J. Study design and analytic methods for data collected from clusters of animals / J. J. McDermott, Y. H. Schukken, M. M. Shoukri // Preventive veterinary medicine. – 1994. – Vol. 18, iss. 3. – P. 175–191. – DOI 10.1016/0167-5877(94)90074-4.

109. Mercedes, B. F. A. Validation of a micro-assay based on the pH differential method to quantify total monomeric anthocyanins in red cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata f rubra) / B. F. A. Mercedes, G. S. J. Santos, C. B. O. Nydia [et al.] // Journal of food measurement and characterization. – 2022. – Vol. 16, iss. 5. – P. 3967–3976. – DOI 10.1007/s11694-022-01505-z.

110. Mezei, L. V. Meeting the demands of climate change: Australian consumer acceptance and sensory profiling of red wines produced from non-traditional red grape varieties / L. V. Mezei, T. E. Johnson, S. Goodman [et al.] // OENO One. – 2021. – Vol. 55, iss. 2. – P. 29–46. – DOI 10.20870/oeno-one.2021.55.2.4571.

111. Monagas, M. Evolution of polyphenols in red wines from *Vitis vinifera* L. during aging in the bottle: I. Anthocyanins and pyranoanthocyanins / M. Monagas, C. Gómez-Cordovés, B. Bartolomé // European food research and technology. – 2005. – Vol. 220. – P. 607–614. – DOI 10.1007/s00217-004-1108-x.

112. Morata, A. Non-*Saccharomyces* as biotools to control the production of off-flavors in wines / A. Morata, I. Loira, C. González, C. Escott // Molecules. – 2021. – Vol. 26, iss. 15. – Art. 4571. – DOI 10.3390/molecules26154571.

113. Moreira, N. Port wine / N. Moreira, P. G. de Pinho // Advances in food and nutrition research. – 2011. – Vol. 63. – P. 119–146. – DOI 10.1016/b978-0-12-384927-4.00005-1.

114. Muche, B. M. Storage temperature impacts on anthocyanins degradation, color changes and haze development in juice of ‘Merlot’ and ‘Ruby’ grapes (*Vitis vinifera*) / B. M. Muche, R. A. Speers, H. P. V. Rupasinghe // Frontiers in nutrition. – 2018. – Vol. 5. – Art. 100. – DOI 10.3389/fnut.2018.00100.

115. Nair, R. D. Sustainability in the South African wine industry: status, opportunities and challenges / R. D. Nair, S. Chisoro, S. Ponte. – Frederiksberg : Centre for business and development studies, 2023. – (CBDS working papers ; 2023/3). – URL: <https://research.cbs.dk/en/publications/sustainability-in-the-south-african-wine-industry-status-opportun/> (дата обращения: 01.10.2025).

116. Naselli, V. Improving the aromatic profiles of Catarratto wines: impact of *Metschnikowia pulcherrima* and glutathione-rich inactivated yeasts / V. Naselli, R. Pres-

tianni, N. Badalamenti [et al.] // Antioxidants. – 2023. – Vol. 12, iss. 2. – Art. 439. – DOI 10.3390/antiox12020439.

117. Nunes, F. M. Carbonyls in wine / F. M. Nunes, F. Cosme, J. Milheiro [et al.] // Wine in health and disease prevention / ed. V. Preedy. – Amsterdam : Academic Press, 2026. – P. 201–213. – DOI 10.1016/B978-0-443-29192-0.00058-3.

118. Oliveira, C. M. Influence of the temperature and oxygen exposure in red Port wine: a kinetic approach / C. M. Oliveira, A. S. Barros, A. C. Silva Ferreira [et al.] // Food research international. – 2015. – Vol. 75. – P. 337–347. – DOI 10.1016/j.foodres.2015.06.024.

119. Oliveira, C. M. Quantification of 3-deoxyglucosone (3DG) as an aging marker in natural and forced aged wines / C. M. Oliveira, S. A. Santos, A. J. Silvestre [et al.] // Journal of food composition and analysis. – 2016. – Vol. 50. – P. 70–76. – DOI 10.1016/j.jfca.2016.05.009.

120. Oliveira, J. Reaction between hydroxycinnamic acids and anthocyanin-pyruvic acid adducts yielding new portisins / J. Oliveira, V. de Freitas, A. M. S. Silva, N. Mateus // Journal of agricultural and food chemistry. – 2007. – Vol. 55. – P. 6349–6356. – DOI 10.1021/jf070968f.

121. Oliveira, J. Structural characterization of a A-type linked trimeric anthocyanin derived pigment occurring in a young Port wine / J. Oliveira, M. A. da Silva, A. Jorge Parola [et al.] // Food chemistry. – 2013. – Vol. 141. – P. 1987–1996. – DOI 10.1016/j.foodchem.2013.04.091.

122. Oro, L. Antimicrobial activity of *Metschnikowia pulcherrima* on wine yeasts / L. Oro, M. Ciani, F. Comitini // Journal of applied microbiology. – 2014. – Vol. 116, iss. 5. – P. 1209–1217. – DOI 10.1111/jam.12446.

123. Ortu, E. Levels of 5-hydroxymethylfurfural, furfural, 2-furoic acid in Sapa syrup, Marsala wine and bakery products / E. Ortu, P. Caboni // International journal of food properties. – 2017. – Vol. 20, suppl. 3. – P. S2543–S2551. – DOI 10.1080/10942912.2017.1373668.

124. Padilla, B. Past and future of non-*Saccharomyces* yeasts: from spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity / B. Padilla,

J. V. Gil, P. Manzanares // *Frontiers in microbiology*. – 2016. – Vol. 7. – Art. 185047. – DOI 10.3389/fmicb.2016.00411.

125. Pereira, V. Emerging trends in fortified wines: a scientific perspective / V. Pereira, A. C. Pereira, J. C. Marques // *Alcoholic beverages*, vol. 7: The science of beverages / eds. A. M. Grumezescu, A. M. Holban. – Amsterdam : Woodhead, 2019. – P. 419–470. – DOI 10.1016/b978-0-12-815269-0.00013-1.

126. Petrozziello, M. Impact of increasing levels of oxygen consumption on the evolution of color, phenolic, and volatile compounds of Nebbiolo wines / M. Petrozziello, F. Torchio, F. Piano [et al.] // *Frontiers in chemistry*. – 2018. – Vol. 6. – Art. 137. – DOI 10.3389/fchem.2018.00137.

127. Picariello, L. Fermentative and post-fermentative oxygenation of Corvina red wine: influence on phenolic and volatile composition, colour and wine oxidative response / L. Picariello, D. Slaghenauhi, M. Ugliano // *Journal of the science of food and agriculture*. – 2020. – Vol. 100, iss. 6. – P. 2522–2533. – DOI 10.1002/jsfa.10278.

128. Pinto, J. Characterization of chemical compounds susceptible to be extracted from cork by the wine using GC-MS and ¹H NMR metabolomic approaches / J. Pinto, A. S. Oliveira, P. Lopes [et al.] // *Food chemistry*. – 2019. – Vol. 271. – P. 639–649. – DOI 10.1016/j.foodchem.2018.07.222.

129. Pipris-Nicolau, L. Formation of flavor components by the reaction of amino acid and carbonyl compounds in mild conditions / L. Pipris-Nicolau, G. Revel, A. Bertrand, A. Maujean // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2000. – Vol. 48, iss. 9. – P. 3761–3766. – DOI doi.org/10.1021/jf991024w.

130. Pissarra, J. Reaction between malvidin 3-glucoside and (+)-catechin in model solutions containing different aldehydes / J. Pissarra, N. Mateus, J. Rivas-Gonzalo [et al.] // *Journal of food science*. – 2003. – Vol. 68, iss. 2. – P. 476–481. – DOI 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05697.x.

131. Puyo, M. Bio-protection in oenology by *Metschnikowia pulcherrima*: from field results to scientific inquiry / M. Puyo, S. Simonin, B. Bach [et al.] // *Frontiers in microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1252973. – DOI 10.3389/fmicb.2023.1252973.

132. Raposo, F. A comprehensive and critical review of the unstandardized Folin–Ciocalteu assay to determine the total content of polyphenols: the conundrum of the experimental factors and method validation / F. Raposo, R. Borja, J. A. Gutiérrez-González // *Talanta*. – 2024. – Vol. 272. – Art. 125771. – DOI 10.1016/j.talanta.2024.125771.

133. Ribeiro, S. G. Volatile composition of fortification grape spirit and port wine: where do we stand? / S. G. Ribeiro, C. Martins, T. Tavares [et al.] // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, iss. 12. – Art. 2432. – DOI 10.3390/foods12122432.

134. Rogerson, F. S. S. Fortification spirit, a contributor to the aroma complexity of Port / F. S. S. Rogerson, V. A. P. De Freitas // *Journal of food science*. – 2002. – Vol. 67, iss. 4. – P. 1564–1569. – DOI 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10323.x.

135. Roullier-Gall, C. Yeast interaction on Chardonnay wine composition: impact of strain and inoculation time / C. Roullier-Gall, F. Bordet, V. David [et al.] // *Food chemistry*. – 2022. – Vol. 374. – Art. 131732. – DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131732.

136. Scanavini, H. F. A. Cachaça distillation investigated on the basis of model systems / H. F. A. Scanavini, R. Ceriani, A. J. A. Meirelles // *Brazilian journal of chemical engineering*. – 2012. – Vol. 29. – P. 429–440. – DOI 10.1590/S0104-66322012000200022.

137. Seguinot, P. Impact of nutrient availability on the fermentation and production of aroma compounds under sequential inoculation with *M. pulcherrima* and *S. cerevisiae* / P. Seguinot, A. Ortiz-Julien, C. Camarasa // *Frontiers in microbiology*. – 2020. – Vol. 11. – Art. 305. – DOI 10.3389/fmicb.2020.00305.

138. Silva Ferreira, A. C. 3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone: a key odorant of the typical aroma of oxidative aged port wine / A. C. Silva Ferreira, J.-C. Barbe, A. P. Bertrand // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2003. – Vol. 51, iss. 15. – P. 4356–4363. – DOI 10.1021/jf0342932.

139. Silva Ferreira, A. C. Heterocyclic acetals from glycerol and acetaldehyde in Port wines: evolution with aging / A. C. Silva Ferreira, J.-C. Barbe, A. Bertrand // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2002. – Vol. 50. – P. 2560–2564. – DOI 10.1021/jf011391j.

140. Silva Ferreira, A. C. Identification of key odorants related to the typical aroma of oxidation-spoiled white wines / A. C. Silva Ferreira, T. Hogg, P. Guedes de Pinho // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2003. – Vol. 51. – P. 1377–1381. – DOI 10.1021/jf025847o.

141. Silva, A. P. Port wine, an established product a new market: a comparative analysis of perceptions of firms and consumers / A. P. Silva, J. Rebelo // *Wine economics and policy*. – 2019. – Vol. 8, iss. 1. – P. 59–68. – DOI 10.1016/j.wep.2019.02.005.

142. Singleton, V. L. Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines and model systems: observations and practical implications / V. L. Singleton // *American journal of enology and viticulture*. – 1987. – Vol. 38. – P. 69–77. – DOI 10.5344/ajev.1987.38.1.69.

143. Somers, T. C. Spectral evaluation of young red wines: Anthocyanin equilibria, total phenolics, free and molecular SO₂, ‘chemical age’ / T. C. Somers, M. E. Evans // *Journal of the science of food and agriculture*. – 1977. – Vol. 28, iss. 3. – P. 279–287. – DOI 10.1002/jsfa.2740280311.

144. Sroka, P. The influence of wood-derived compounds on the quality of alcoholic beverages / P. Sroka, T. Tarko // *Molecules*. – 2026. – Vol. 31, iss. 9. – Art. 1408. – DOI 10.3390/molecules31091408.

145. Styger, G. Wine flavor and aroma / G. Styger, B. Prior, F. F. Bauer // *Journal of industrial microbiology and biotechnology*. – 2011. – Vol. 38, iss. 9. – P. 1145–1159. – DOI 10.1007/s10295-011-1018-4.

146. Taghavi, T. Comparing pH differential and methanol-based methods for anthocyanin assessments of strawberries / T. Taghavi, H. Patel, R. Rafie // *Food science & nutrition*. – 2022. – Vol. 10, iss. 7. – P. 2123–2131. – DOI 10.1002/fsn3.2065.

147. Vejarano, R. Commercially available non-*Saccharomyces* yeasts for wine-making: current market, advantages over *Saccharomyces*, biocompatibility, and safety / R. Vejarano, A. Gil-Calderón // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7, iss. 3. – Art. 171. – DOI 10.3390/fermentation7030171.

148. Wang, L. Distilled beverage aging: a review on aroma characteristics, maturation mechanisms, and artificial aging techniques / L. Wang, S. Chen, Y. Xu // *Compre-*

hensive reviews in food science and food safety. – 2023. – Vol. 22, iss. 1. – P. 502–534. – DOI 10.1111/1541-4337.13080.

149. Waterhouse, A. L. Oxidation of wine phenolics: a critical evaluation and hypotheses / A. L. Waterhouse, V. F. Laurie // American journal of enology and viticulture. – 2006. – Vol. 57, iss. 3. – P. 306–313. – DOI 10.5344/ajev.2006.57.3.306.

150. Williams, A. A. The volatile flavour components of commercial port wines / A. A. Williams, M. J. Lewis, H. V. May // Journal of the science of food and agriculture. – 1983. – Vol. 34, iss. 3. – P. 311–319. – DOI 10.1002/jsfa.2740340316.

151. Winstel, D. Identification of two new taste-active compounds in oak wood: Structural elucidation of potential β -methyl- γ -octalactone precursors and quantification in spirits / D. Winstel, M. Gammacurta, P. Waffo-Téguo, A. Marchal // Journal of agricultural and food chemistry. – 2024. – Vol. 72, iss. 37. – P. 20592–20602. – DOI 10.1021/acs.jafc.4c04799.

152. Yan, Q. Three main flavour types of Chinese Baijiu: characteristics, research, and perspectives / Q. Yan, K. Zhang, W. Zou, Y. Hou // Journal of the Institute of Brewing. – 2021. – Vol. 127, iss. 4. – P. 317–326. – DOI 10.1002/jib.669.

153. Zea, L. Acetaldehyde as key compound for the authenticity of sherry wines: a study covering 5 decades / L. Zea, M. P. Serratos, J. Mérida, L. Moyano // Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2015. – Vol. 14, iss. 6. – P. 681–693. – DOI 10.1111/1541-4337.12159.

154. Zhang, J. Effect of supplementary light with different wavelengths on anthocyanin composition, sugar accumulation and volatile compound profiles of grapes / J. Zhang, W. Li, P. Zhang [et al.] // Foods. – 2023. – Vol. 12, iss. 22. – Art. 4165. – DOI 10.3390/foods12224165.

Бийск
2026

Приложение Б

(справочное)

**Технологическая инструкция по производству крепленого вина
«Портвейн Алтайский» ТИ 11.01.12.163-001-05151790-2026****МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ****Бийский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
(БТИ АлтГТУ)**

ОКПД 2 11.02.12.163

ОКС 67.160.10 (Группа Н 73)



УТВЕРЖДАЮ:

Д. В. Корабельников

Д. В. Корабельников

09

2026 г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству крепленого вина «Портвейн Алтайский»****ТИ 11.02.12.163-001-05151790-2026
(Вводится впервые)**

Дата введения в действие

« 1 » 10 2026

РАЗРАБОТАНО:
БТИ АлтГТУ
кафедра биотехнологииНеклюдов А.А.
Рожнов Е.Д.Бийск
2026

Приложение В

(справочное)

Документы о внедрении результатов исследования

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ООО «ЦПС»



/ Глушко С.Д.

«08» декабря 2025 г.

АКТ

о внедрении (использовании) результатов диссертационного исследования Неклюдова Антона Андреевича на ООО «ЦПС» (г. Бийск)

Комиссия в составе: председатель Шмелева И.Ю., члены комиссии: Худотеплова Е.С., Поломошнова Е.С. составили настоящий акт о том, что разработанная в диссертационном исследовании Неклюдова А.А. технология получения портвейна была апробирована в условиях лаборатории ООО «ЦПС».

В период с 15 сентября 2025 г по 30 ноября 2025 г в лаборатории ООО «ЦПС» была воспроизведена предложенная технология получения портвейна. Сырье (виноград Фиолетовый ранний) для переработки в количестве 250 кг было предоставлено Неклюдовым А.А. В результате была выработана и исследована опытная партия портвейна в количестве 18 дал. Режимы производства полностью соответствовали предоставленной технологической схеме.

Характеристика опытной партии виноматериала: объемная доля этилового спирта – $18,6 \pm 0,3$ %; массовая концентрация сахаров – $88,3 \pm 0,5$ г/дм³; массовая концентрация титруемых кислот – $5,4$ г/дм³; массовая концентрация летучих кислот – $0,55$ г/дм³.

Органолептическая оценка: прозрачное с блеском, цвет – темно-красный; аромат яркий, сортовой, развитый, без посторонних запахов; вкус – сильный, винный, приятный, сладость гармоничная, терпкость мягкая. Напиток гармоничный.

По окончании работ виноматериал был передан Неклюдову А.А.

В ходе апробации установлено, что предложенная Неклюдовым А.А. технология воспроизводима в условиях реального производства.

Председатель комиссии:

Начальник лаборатории ООО «ЦПС»

Члены комиссии:

Технолог ООО «ЦПС»

Инженер-химик ООО «ЦПС»

Шмелева И.Ю.

Худотеплова Е.С.

Поломошнова О.С.

УТВЕРЖДАЮ



И.о. директора Бийского технологического института
(филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»

Корабельников Д.В.

2026 г.

СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы
А.А. Неклюдова в учебный процесс**

Результаты диссертационной работы Неклюдова Антона Андреевича внедрены в учебный процесс Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». В частности:

1. Внедрены в учебный процесс при изучении студентами технологического факультета направлений подготовки 19.03.01 Биотехнология (профиль – Промышленная биотехнология) и 19.04.01 Биотехнология (магистерская программа – Технология биологически активных соединений и продуктов) дисциплин:

А) Пищевая биотехнология: использована предложенная в диссертационной работе технология пост-инокуляции для увеличения синтеза вторичных метаболитов при брожении;

Б) Моделирование биотехнологических процессов: результаты моделирования кинетики изменения содержания антоцианов в процессе портвейнизации;

В) Методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов, готовых БАВ и продуктов на их основе: использованы результаты исследования первичных, вторичных и третичных ароматических соединений портвейнов.

2. Методологические подходы к формированию качества портвейна, предложенные Неклюдовым А.А. применяются при выполнении студентами выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций;

3. Предложенная Неклюдовым А.А. технология портвейнов нашла применение в виде обучающего кейса при изучении дисциплины магистратуры «Научно-исследовательский семинар».

Декан ТФ

А.Н. Павлов