

*На правах рукописи*



**ЗЕЛЕНЬКОВА АННА ВАЛЕНТИНОВНА**

**БИОТЕХНОЛОГИЯ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО  
ОВСЯНОГО СОЛОДА: ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

05.18.07 – «Биотехнология пищевых продуктов и биологических  
активных веществ»

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном  
бюджетном образовательном учреждении высшего образования  
«Воронежский государственный университет инженерных технологий»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Агафонов Геннадий Вячеславович**  
(ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный университет инженерных  
технологий»)

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Меледина Татьяна Викторовна**  
(ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
национальный исследовательский  
университет информационных технологий,  
механики и оптики», г. Санкт-Петербург);

**Ведущая организация:** кандидат технических наук, генеральный  
директор **Ермолаев Сергей Вячеславович**  
(ООО «Группа БАС», г. Москва)  
**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Кемеровский  
государственный университет», г. Кемерово**

Защита состоится «15» декабря. 2020 года в 12 час. 30 мин. на заседании  
совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на  
соискание ученой степени доктора наук Д.212.035.04 при ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ  
ВО «ВГУИТ») по адресу: 394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой  
печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю совета  
Д.212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО  
«ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети «Интернет» на  
официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» [www.vsuet.ru](http://www.vsuet.ru) «07» сентября 2020 г.

Автореферат размещен в сети «Интернет» на официальном сайте  
Министерства науки и высшего образования РФ по адресу:  
[www.vak2.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak2.minobrnauki.gov.ru) и на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ»  
[www.vsuet.ru](http://www.vsuet.ru) «08» октября 2020 г.

Автореферат разослан «10» ноября 2020 г.

Ученый секретарь совета по защите  
диссертаций на соискание  
ученой степени кандидата  
наук, на соискание доктора  
наук Д.212.035.04, к.т.н., доцент

Е.В. Белокурова

### **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время российский рынок солода представлен разнообразным ассортиментом, но оригинальные виды солода из разных злаков в основном импортные.

Традиционные виды солода - это ячменный, ржаной и пшеничный. Согласно исследованию маркетингового агентства ID-Marketing основной вид производимого солода в России – ячменный (97 % от всего солода). К нетрадиционным видам солода относят солод из зерна овса, гречихи, тритикале, сорго и других злаков.

Овсяный солод в России в промышленных масштабах не производят, его закупают в Бельгии и некоторых других европейских странах. Существует проблема недостаточного производства ферментированного солода. Доля его производства составляет 1/3 от объема неферментированного, что не покрывает потребности в данном виде солода на отечественных предприятиях. Все это приводит к дефициту солода из нетрадиционного зерна на отечественном рынке, в том числе ферментированного солода. На протяжении последних трех лет в России наблюдается подъем производства овса. Кроме того, наша страна является основным производителем овса в мире.

Отличительный признак солодовых напитков – технологическая стадия сбраживания, где сусло биотрансформируется в напиток или его основу благодаря действию микроорганизмов. Напитки из зерна имеют в своем составе широкий спектр биологически активных веществ исходного растительного сырья и появившихся в результате брожения.

В связи с этим обоснование и разработка технологии производства овсяного ферментированного солода и солодовых напитков на его основе определяют актуальность данной работы.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований и экспериментальных разработок приоритетного направления развития НОЦ «Живые системы» ФГБОУ ВО «ВГУИТ» «Живые системы в технологиях переработки сельскохозяйственного сырья и обеспечение здорового питания»; плана госбюджетной инициативной научно-исследовательской работы кафедры «Технология бродильных и сахаристых производств» по теме «Совершенствование технологических процессов бродильных и сахаристых производств с использованием физико-химических, ресурсосберегающих, биохимических методов воздействия и нетрадиционного сырья».

**Степень разработанности темы.** Исследования в области технологии производства солода из традиционного и нетрадиционного зернового сырья и пути его применения обобщены в трудах отечественных и зарубежных ученых: Гернет М.В., Домарецкого В.А., Емельяновой Н.А., Ермолаевой Г.А., Киселевой Т.Ф., Кобелева К.В., Мелединой Т.В., Оганесянца Л.А., Помозовой В.А., Фараджевой Е.Д., Федоренко Б.Н., Ch. Bemfort, L. Narziss, W. Kunze.

**Цель диссертационной работы:** научное обоснование преимуществ и условий производства овсяного ферментированного солода путем интенсификации процессов проращивания и ферментации с применением ферментного препарата Церемикс 6ХМГ.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **задачи**:

- обосновать выбор сорта овса для производства ферментированного солода;
- исследовать влияние ферментного препарата Церемикс 6ХМГ на амилолитическую, протеолитическую и цитолитическую способность овсяного солода;
- провести исследование белкового и углеводного состава овсяного солода в процессе его ферментации и сушки;
- оптимизировать режимы проращивания и ферментации овсяного солода с помощью методов математического моделирования;
- предложить и обосновать способ производства ферментированного овсяного солода и солодового напитка с его применением;
- разработать проекты технической документации, провести апробацию технологии в опытно-производственных условиях, рассчитать экономическую эффективность технологических решений.

#### **Научная новизна работы.**

Изучены биохимические особенности сортов овса и влияние дозировки ферментного препарата Церемикс 6ХМГ на изменение амилолитической, протеолитической и цитолитической способности овсяного солода.

Получены уравнения регрессии для проведения расчетов ферментативной способности в зависимости от режима проращивания овса.

Оптимизированы режимы процесса ферментации овсяного солода с помощью математических методов с варьированием температуры, влажности и продолжительности процесса.

Идентифицирован белковый и углеводный состав солода, полученного из овса сорта Козырь, в процессе его ферментации и сушки.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Обосновано применение овса сорта Козырь для производства ферментированного солода. Определены условия и режимы проращивания и ферментации овсяного солода при различных параметрах процесса. Оптимальные условия для максимального накопления ферментативной способности овсяного солода – температура 18,2 °С, влажность 48,9 %, продолжительность 4,8 сут, дозировка ферментного препарата Церемикс 6ХМГ - 0,88 кг/т. Оптимальные условия для максимального накопления редуцирующих сахаров, аминного азота и цветности солода – температура 58-67 °С, влажность 52-54 %, продолжительность 12-14 ч.

Перечень установленных закономерностей формируют знания в области применения «живых систем» в технологиях пищевых продуктов. Результаты экспериментальных исследований используются в образовательном процессе для подготовки бакалавров и магистров по

направлениям 19.03.02, 19.04.02 - «Продукты питания из растительного сырья», 19.03.01, 19.04.01 - «Биотехнология».

Конкретизирована технология ферментированного овсяного солода с применением Церемикс 6ХМГ, что позволило повысить эффективность технологического процесса. Разработаны рецептуры солодовых напитков с использованием ферментированного овсяного солода с целью увеличения ассортимента и конкурентоспособности продукции.

Новизна технических решений и практическая значимость работы подтверждена патентом на изобретение «Способ производства ферментированного овсяного солода».

Разработаны проекты технической документации на новые виды продукции: «Солод ферментированный овсяный» ТУ 9184 – 439 – 02068108 – 2017, ТИ 9184 – 439 – 02068108 – 2017; «Солодовый напиток «Карамельный» ТУ 9184-490-02068108-2018, ТИ 9184-490-02068108-2018. Установлены регламентируемые показатели качества и безопасности, дана комплексная оценка, обоснованы режимы и сроки хранения разработанной продукции. Основные финансово-экономические показатели выполненных разработок доказывают экономическую целесообразность внедрения технологических разработок в производство: расчетный экономический эффект составляет от реализации предлагаемых технических и технологических решений при производстве: 18 000 т ферментированного овсяного солода в год – 116 996,39 тыс. р.; 500 000 дал солодовых напитков в год - 531,86 тыс. р.

**Методология и методы исследования.** В работе применяли современные инструментальные, химические, органолептические, биохимические, микробиологические методы исследования сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Экспериментальные результаты представлены после статистической обработки данных выборки из 3-5 опытов.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- биохимические особенности сортов овса: антиоксидантная активность, аминокислотный состав, ферментативная способность при солодоращении с применением ферментного препарата Церемикс 6ХМГ;
- рациональные и оптимальные условия реализации процесса проращивания и ферментации овсяного солода, полученные с помощью математического моделирования: температура, влажность солода, продолжительность процесса и дозировка ферментного препарата;
- модифицированная технология производства ферментированного овсяного солода и солодовых напитков с его применением.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационное исследование соответствует пп. 3, 4, 11 паспорта специальности 05.18.07 – «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Основные результаты работы подтверждены сравнительной проработкой информационно-патентных данных; применением современных методов

анализа, математической обработкой результатов исследования. Основные положения работы и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических всероссийских и международных конференциях: Международной научно-практической конференции «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса» (Воронеж, 5 апреля 2016 г., 27 апреля 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья» (Воронеж, 26-27 октября 2016 г., 26-27 октября 2017 г.); III Международной научно-технической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 25-26 ноября 2016 г.); V Международной научно-практической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 23 ноября 2018 г.); Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» (Воронеж, 8 ноября 2016 г., 16 ноября 2018 г.); Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи» (Москва, 12-13 октября 2017 г.); форуме «Проблемы импортозамещения и безопасности потребительского рынка» (Орел, 17 декабря 2018 г.); XVI Международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество» (Барнаул, 24-26 июня 2019 г.); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Инновационное предпринимательство: теория и практика» (Воронеж, 5 июля 2019 г.).

Производственные испытания разработанных технологий на предприятиях АО «Брянскпиво» и ООО «Рейвен Крафт» (г. Воронеж) подтвердили возможность внедрения результатов исследования в солодовенной и пивоваренной промышленности (акты испытаний).

**Публикации.** По результатам исследований, изложенных в диссертационной работе, опубликовано 19 научных печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных для опубликования основных результатов исследований ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, и 1 патент на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по основным результатам работы, списка литературы, включающего 134 источника (в том числе 31 на иностранном языке) и 7 приложений; изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков и 41 таблицу.

**Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации,** состоит в анализе информации по изучаемой проблеме, выборе направления исследований, постановке и выполнении основной части экспериментов, исследовании влияния ферментного препарата Церемикс 6ХМГ на ферментативную активность овсяного солода, различных факторов на эффективность процесса проращивания и ферментации, в оценке качества полупродуктов и готовой продукции. Автором разработаны проекты

технической документации на новые виды продукции, проведена промышленная апробация предлагаемых технических и технологических решений.

### **Основное содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель, задачи, научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** систематизированы результаты патентно-информационного поиска о перспективных направлениях в совершенствовании технологии солода из нетрадиционного сырья. Рассмотрены целесообразность применения овса и способы интенсификации процессов солодоращения, а также особенности технологии солода и солодовых напитков.

На основании проведенного анализа результатов патентно-информационного поиска сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены методы их решения.

**Во второй главе** в соответствии с целью и задачами представлена структурная схема теоретических и экспериментальных исследований для их реализации (рисунок 1).

Экспериментальные исследования и обработка результатов проводились в лабораториях кафедры технологии броидильных и сахаристых производств, в Центре коллективного пользования, отделе стандартизации и метрологии ФГБОУ ВО «ВГУИТ» а также на базе испытательных лабораторий АНО «НТЦ» Комбикорм», г. Воронеж; «IREKS», St. Kulmbach (Германия); ООО «Стайлаб», г. Москва.

Объектами исследований являлись сорта овса Борец, Яков, Айвори, Козырь, рожь сорта Таловская 15, ферментный препарат Церемикс 6ХМГ, ферментированный солод, а также солодовые напитки.

Проводили математическую обработку экспериментальных данных. Для оценки адекватности математической модели был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) эксперимента в программе DesignExpert (Stat-EaseInc.).

Оценку качества зерна, свежепоросшего и ферментированного солодов и солодового напитка проводили согласно методикам, принятым в пивоваренном производстве (Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия (Ермолаева Г.А., 2004)). Определение содержания антиоксидантов в различных сортах овса и ржи осуществляли на анализаторе антиоксидантной активности «ЦветЯуза-01-АА».

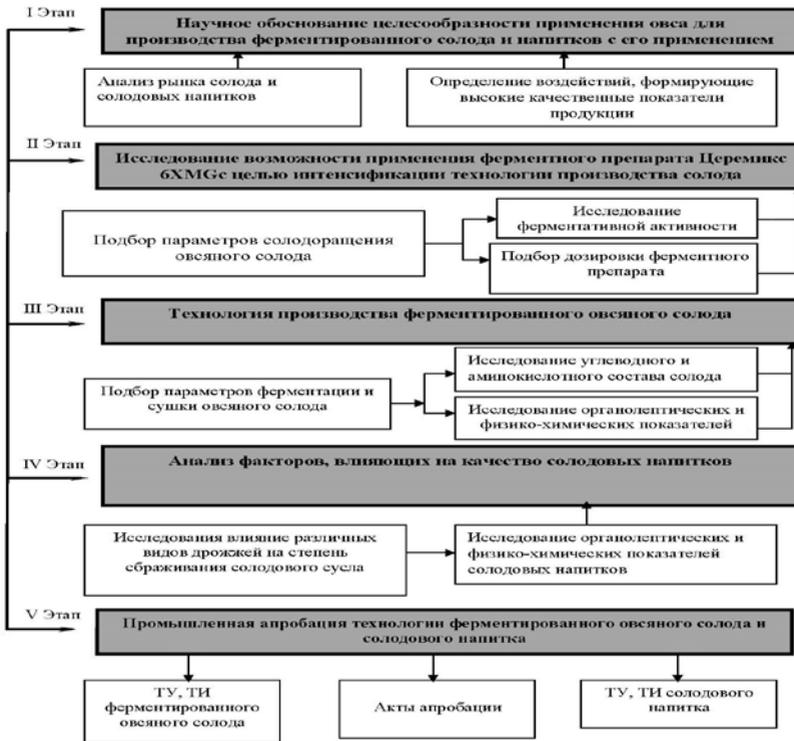


Рисунок 1 - Схема экспериментальных исследований

Амилолитическую способность (АС) солода контролировали колориметрическим способом, цитолитическую (ЦС) – методом Шомодьи-Нельсона, протеолитическую (ПС) – методом Петрова. Содержание аминокислот определяли на аминоканализаторе LC-20 Prominence (ГОСТ Р 52347 МВИ М 04–38 2009), высших спиртов – методом газовой хроматографии (Хромос ГХ-1000); углеводов – методом ВЭЖХ с рефрактометрическим детектированием на жидкостном хроматографе марки Agilent серии 1220 Infinity LC, оснащенном колонкой Zorbax. Осуществляли микрофотографирование препаратов солодового сусле под микроскопом марки «Микромед-3». Для сбраживания солодового сусле с применением ферментированного овсяного солода использовали: сухие хлебопекарные дрожжи торговой марки «Саф-Момент» вида *Saccharomyces cerevisiae*, пивные дрожжи W 34/70, винные дрожжи ИОС 18-2007.

В третьей главе обоснован выбор сырья для производства ферментированного солода (таблица 1), проведено исследование особенностей биосинтеза гидролитических ферментов и оптимизированы параметры солодоращения овса.

Таблица 1 – Показатели зернового сырья

Показатели	Сорта овса				Рожь Таловская 15
	Борец	Яков	Айвори	Козырь	
Цвет, запах, вкус	Свойственный нормальному зерну, без посторонних оттенков				
Массовая доля влаги, %	13,8	14,2	13,5	13,2	14,5
Натура, г/дм <sup>3</sup>	432	452	520	558	639
Абсолютная масса, г	37,8	42	39	38,1	42,3
Способность прорастания, %	93,7	94,2	95,1	95,2	95,3
Массовая доля крахмала, %	52,8	52,6	53,1	53,8	56,8
Массовая доля белка, %	14,7	11,9	14,3	14,1	14,5
Содержание незаменимых аминокислот (в т.ч. лейцин, валин, изолейцин, лизин и др.), мг % на СВ	3,407	2,947	3,626	3,911	1,552
Содержание заменимых аминокислот (в т.ч. глутаминовая к- та, аспарагиновая к-та, аргинин, аланин, серин и др.), мг % на СВ	6,740	7,027	8,064	8,190	4,660

Замачивали зерно воздушно-водяным способом при температуре 14–16 °С до достижения влажности 48–50 %. Проращивание проводили по температурному режиму 14–19–15 °С в течение 4–5 сут. Установили (таблица 2), что овсяный солод обладает низкими значениями АС, ЦС и ПС по сравнению с контролем (сорт ржи Таловская 15).

Таблица 2 – Характеристика свежепроросшего солода

Тип солода	Сорт	Содержание антиоксидантов, мг/100 г	Активность ферментов, ед/г		
			АС	ЦС	ПС
Ржаной (контроль)	Таловская 15	1,96	223,3	348,7	40,0
Овсяный (опыт)	Борец	2,11	158,0	261,0	20,5
	Яков	2,16	173,0	279,0	25,5
	Айвори	3,36	180,1	287,0	29,3
	Козырь	3,91	193,1	298,0	34,0

Анализ данных, представленных в таблице 2, позволил взять овес сорта Козырь в качестве основного объекта для исследования, потому что у него выше АС, ЦС на 3,69–12,42 % и ПС на 13,24–39,71 % по сравнению с другими сортами овса, а содержание антиоксидантов в 1,9 раза больше, чем в контроле.

Для увеличения ферментативной способности овсяного солода проводили его орошение раствором ферментного препарата Церемикс 6ХМГ в количестве 0,3–1,2 кг на 1 т зерна. Был отмечен быстрый рост корешков и зародышевого листка, увеличение активности гидролитических ферментов и растворимости эндосперма. В зависимости от дозировки Церемикса 6ХМГ активность всех ферментов значительно превышала контрольный образец (ржаной солод). Так, при дозировке ферментного препарата в количестве

0,3 кг/т АС, ПС и ЦС возросли соответственно на 23,72, 29,2 и 11,07 %; а при дозировке 0,9 кг/т АС, ПС и ЦС возрастали соответственно на 59,1, 60,7 и 16,1 %.

С целью оптимизации процесса солодоращения овса сорта Козырь в качестве входных параметров были выбраны  $x_1$  – температура солодоращения  $t$ , °С;  $x_2$  – продолжительность  $\tau$ , суток;  $x_3$  – степень замачивания солода  $w$ , %;  $x_4$  – дозировка ферментного препарата, ед/г. Критериями оценки влияния выбранных параметров служили активности: АС ( $y_1$ , ед./г СВ), ПС ( $y_2$ , ед./г СВ) и ЦС ( $y_3$ , ед./г СВ). Оптимизация процесса солодоращения была выполнена с применением метода полного факторного эксперимента  $2^4$  с использованием центрального композиционного ротационного униформпланирования эксперимента (ЦКРП).

Математическая модель процесса солодоращения представляется в виде полинома 2-й степени:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^n b_{ij} x_i x_j$$

Были получены уравнения регрессии 2-го порядка, адекватно описывающее процесс солодоращения:

$$y_1 = 316,25 + 3,94x_1 + 1,56x_2 + 67,07x_3 + 36,12x_4 - 0,27 x_1 x_2 + 0,012 x_1 x_3 + 0,14 x_2 x_3 - 0,27 x_2 x_4 + 6,74 x_3 x_4 - 2,32 x_1^2 - 3,15 x_2^2 - 35,28 x_3^2 - 35,46 x_4^2;$$

$$y_2 = 54,45 + 0,76x_1 + 0,32x_2 + 11,98x_3 + 8,17x_4 - 0,34 x_1 x_2 + 0,012 x_1 x_3 - 0,01 x_1 x_4 - 0,014 x_2 x_3 - 0,12 x_2 x_4 + 0,096 x_3 x_4 - 0,74 x_1^2 - 0,85 x_2^2 - 5,63 x_3^2 - 5,52 x_4^2;$$

$$y_3 = 341,55 + 4,26x_1 + 1,33x_2 + 67,75x_3 + 48,9x_4 - 2,41 x_1 x_2 + 0,34 x_1 x_3 + 0,32 x_1 x_4 + 0,069 x_2 x_3 - 0,048 x_2 x_4 + 11,07 x_3 x_4 - 8,25 x_1^2 - 8,52 x_2^2 - 34,73 x_3^2 - 20,21 x_4^2.$$

Из уравнений можно выделить факторы, которые больше всего влияют на изучаемый процесс. Знак «плюс» перед коэффициентом при линейных членах указывает на то, что с ростом значения входного параметра значение выходного параметра возрастает, знак «минус» – убывает. Значение коэффициентов квадратичных эффектов указывает на существенную нелинейность выходных параметров от рассматриваемых факторов. Степень влияния входных параметров  $x_i$  на выходные  $y_i$  показана на рисунке 2.

Для определения оптимального режима солодоращения был использован метод неопределенных множителей Лагранжа, который установил, что максимальные значения ферментативной способности овсяного солода: амилолитической  $y_1 = 356$  ед/г, протеолитической  $y_2 = 63,4$  ед/г и цитолитической  $y_3 = 405,1$  ед/г достигаются при температуре  $x_1 = 15$  °С, влажности солода  $x_2 = 48,9$  %; продолжительности  $x_3 = 4,8$  сут и дозировке ферментного препарата Церемикс 6ХМГ  $x_4 = 0,88$  кг/т зерна.

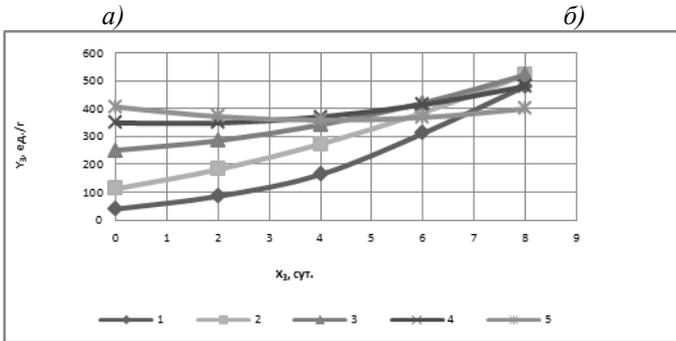
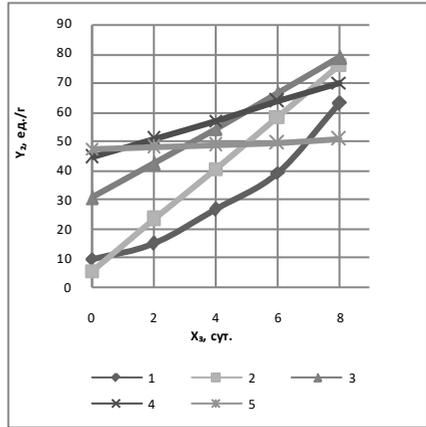
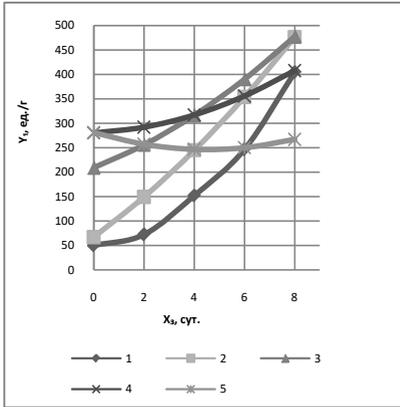


Рисунок 2 - Зависимость ферментативной способности от продолжительности проращивания солода при дозировке ферментного препарата, кг/т сырья: 1 – 0; 2 – 0,3; 3 – 0,6; 4 – 0,9; 5 – 1,2; а – АС, ед./г; б – ПС, ед./г; в – ЦС, ед./г

**В четвертой главе** исследовано влияние основных технологических факторов на процесс проращивания, ферментации и сушки овсяного солода.

Динамика процесса ферментации и сушки свежепросожденного овсяного солода по предлагаемому режиму представлена на рис. 3.

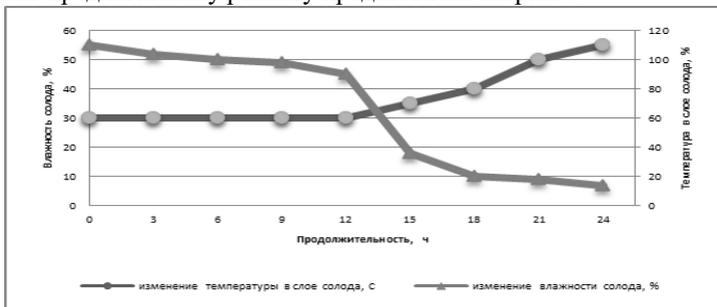


Рисунок 3 - Диаграмма ферментации и сушки свежепросожденного овсяного солода

Обоснование этого режима ферментации следующее: температура, при которой происходит клейстеризация крахмала овса – 58,0-59,5 °С, поэтому при данном диапазоне температур и влажности происходит частичная клейстеризация крахмала, что делает его более доступным для воздействия гидролитических ферментов. Гидролиз веществ эндосперма зерна под действием накопленных ферментов идет при повышении температуры в слое солода от 18 до 59-67 °С при его влажности 52-56 %. При ферментации происходит накопление продуктов распада полисахаридов и белков из-за воздействия определенных гидролитических ферментов, оптимальная температура для которых 60-65 °С, что является наиболее близкими значениями к интервалу температур исследуемого процесса. Благодаря повышенной влажности эти ферменты мобильны, что необходимо для гидролиза высокомолекулярных субстратов эндосперма солода.

Процесс меланоидинообразования идет на стадии ферментации солода. С целью оптимизации процесса ферментации в качестве входных параметров были выбраны:  $X_1$  – температура, °С;  $X_2$  – влажность солода, %;  $X_3$  – продолжительность ферментации, ч. Критериями оценки влияния входных параметров на количество продуктов распада высокомолекулярных белков и полисахаридов в овсяном солоде в процессе ферментации служили:  $y_4$  – содержание редуцирующих веществ, % сухого вещества (СВ) солода;  $y_5$  – содержание аминного азота, мг/100 г солода;  $y_6$  – цветность солода, ед. цветности. Были получены уравнения регрессии 2-го порядка, адекватно описывающие процесс ферментации:

$$y_4 = 31,99 + 2,09X_1 + 1,49X_2 + 1,72X_3 - 0,46X_1X_2 - 2,103X_1^2 - 0,58X_2^2;$$

$$y_5 = 218,43 - 3,35X_1 + 7,55X_2 - 3,42X_3 - 4X_1X_2 - 5X_1X_3 - 6X_2X_3 - 4,59X_1^2 - 4,41X_2^2 - 3,52X_3^2;$$

$$y_6 = 13,03 - 0,21X_1 + 1,12X_2 + 0,25X_3 - 0,21X_1X_2 - 0,49X_1X_3 - 0,36X_2X_3 - 1,65X_1^2 - 1,26X_2^2 - 0,13X_3^2.$$

Установили, что процесс ферментации необходимо проводить при 58–67 °С и влажности 52–54 % в течение 12–14 ч.

Процесс получения ферментированного овсяного солода по предлагаемому режиму приведен на рис. 4.



Рисунок 4 - Принципиальная схема получения ферментированного овсяного солода

Изучено изменение АС в процессе ферментации (рисунок 5) и ПС (рисунок 6) по предлагаемому (режим 1) и традиционному режиму (режим 2): АС увеличивается и достигает максимума 346,1 ед на 9-м ч процесса по режиму 1. По режиму 2 максимум активности составляет 288,7 ед. Достигнув максимума, активность уменьшается. К началу сушки АС по режиму 1 на 40,93 % выше, чем по режиму 2. Во время сушки активность снижается и в готовом солоде: по режиму 1 – 120 ед., по режиму 2 – 41,5 ед. ПС снижается в ходе процесса термообработки. Отметим, что уменьшение ПС происходит тем сильнее, чем выше температура и дольше время процесса. В момент ферментации и сушки ПС снизилась на 24,56 % (режим 1) и на 70,2 % (режим 2). Установили, что в готовом солоде, полученном по предлагаемому режиму, активность протеолитических ферментов в 2,42 раза выше, чем по традиционному режиму.

По окончании второй недели отлежки исследовали физико-химические показатели полученных солодов (табл. 3).

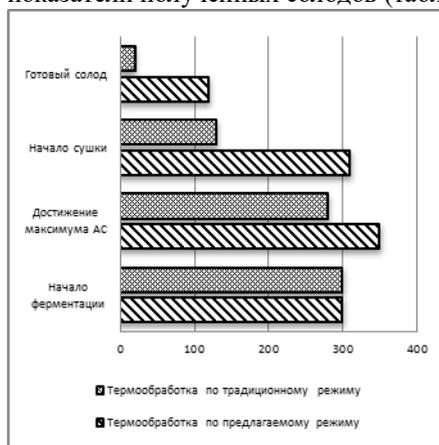


Рисунок 5 - Изменение амилолитической способности при ферментации и сушке

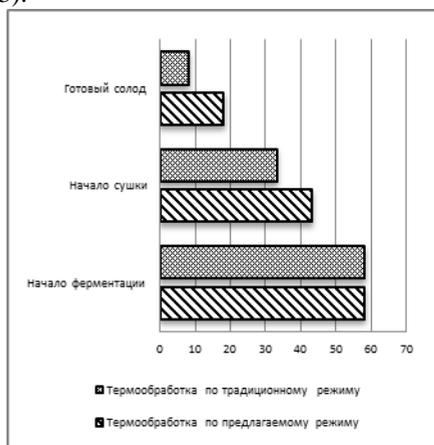


Рисунок 6 - Изменение протеолитической способности при ферментации и сушке

Таблица 3 - Физико-химические показатели ферментированного солода, полученного по различным режимам

Показатели качества	Овес	
	Режим 1	Режим 2
Массовая доля влаги, %	7,80-8,30	7,60-8,50
Массовая доля экстракта в сухом веществе солода, %:		
при горячем экстрагировании с вытяжкой из ячменного солода	84,1-86,45	83,4-85,2
Кислотность, к.ед.	19,3-25,4	27,8-29,6
Цветность, ц.ед.	18,3-19,3	14,5-16,2
Массовая доля общего азота в пересчете на белковые вещества, % СВ солода	11,6-12,2	11,2-12,3

Исследовали фракционный состав белков овса в процессе проращивания овсяного солода. Установили, что суммарное количество альбуминов и глобулинов овса за время проращивания возрастает с 32,3 до 55,0 % от общего количества белков в овсе, а количество проламинов и глютелинов уменьшается на 18,57 % от количества их в исходном зерне.

Установили, что фракционный состав белковых веществ изменяется в большей степени на 3-4 сут рощения. Активный протеолиз запасных белков и накопление азотистых растворимых веществ по оптимизированному нами режиму проращивания овса идет до четвертых суток проращивания.

В процессе ферментации в течение 6 ч значительно изменяется фракционный состав белковых веществ (рисунок 7). Установили, что в процессе ферментации увеличивается количество альбуминов и глобулинов на 20,8 % и уменьшается количество проламинов и глютелинов на 23,9 %.

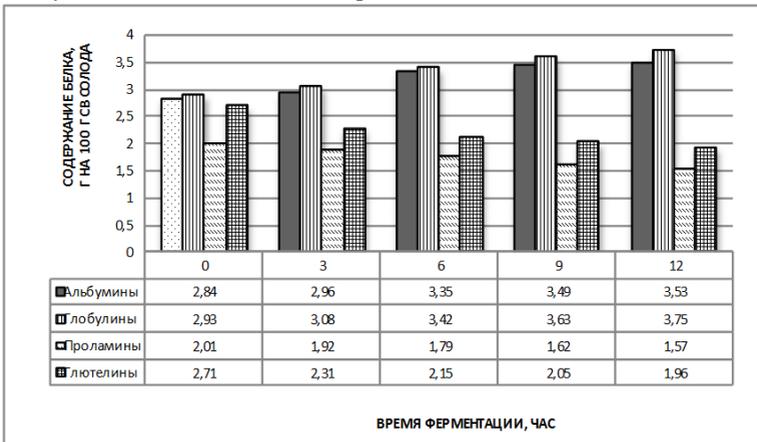


Рисунок 7 - Изменение фракционного состава белков в процессе ферментации

Установили, что при получении ферментированного солода по предлагаемому режиму увеличивается количество аминокислот за исключением фенилаланина, тирозина и пролина (их содержание уменьшается в среднем на 12-36 %). Общее количество свободных аминокислот в исследуемом солоде возрастает на 38,35 %.

При проращивании овса увеличивается содержание аминокислот: количество метионина, лизина, глицина, валина и аспарагиновой кислоты (по мере уменьшения от 72 до 55 %). Количество остальных аминокислоты увеличивается на 25-40 %.

При ферментации овсяного солода в течение 10 ч суммарное накопление аминокислот составляет 37,45 %. Количество отдельных аминокислот возрастает в диапазоне от 37 до 53 %. Исключением являются пролин, глицин и изолейцин (прирост составляет 25-28 %). За дальнейшие 3 ч процесса ферментации количество аминокислот увеличивается незначительно на 6,39 % из-за термической инактивации протеаз и протекания реакции меланоидинообразования.

При сушке овсяного солода по предлагаемому режиму уменьшается общее количество аминокислот на 32,31 %. Аминокислоты, принимающие максимальное участие в реакции меланоидинообразования при приготовлении ферментированного овсяного солода, располагаются в следующем порядке: тирозин, метионин, аргинин, лизин, фенилаланин, валин, цистеин, гистидин, аланин и аспарагиновая кислота.

Исследована динамика изменения свободных сахаров при приготовлении ферментированного солода из овса. В процессе проращивания количество свободных сахаров возрастает в 4-6 раз, если сравнивать с исходным зерном. В процессе ферментации (таблица 4) увеличивается количество свободных сахаров в солоде, что связано с температурным режимом близким к оптимальному интервалу для амилолитических ферментов. Установили, что редуцирующие сахара накапливаются в течение 8-9 ч ферментации, затем их количество увеличивается незначительно.

**Таблица 4 – Динамика изменения содержания свободных сахаров в овсяном солоде**

Наименование	Содержание свободных сахаров в % СВ солода									
	Ферментация, ч					Сушка, ч				
	0	3	6	9	12	0	3	6	9	12
Фруктоза	2,52	2,62	2,74	2,86	2,94	2,94	2,67	2,15	1,25	0,45
Глюкоза	2,97	4,25	5,54	6,23	8,63	8,63	7,86	7,23	3,76	4,33
Мальтоза	4,26	6,89	10,12	12,57	13,74	13,74	12,62	9,12	7,64	5,37
Изомальтоза	0,75	1,01	1,23	1,43	1,83	1,83	1,21	0,53	0,45	0,36
Сахароза	4,81	4,25	3,94	3,92	3,17	3,17	2,73	2,54	1,79	0,89

В ходе сушки ферментированного солода уменьшается содержание фруктозы на 84,7 %, глюкозы – на 50,2 %, сахарозы – на 72 %, мальтозы – на 61,4 % и изомальтозы – на 80,3 %. Фруктоза и глюкоза имеют свободную карбонильную группы. Благодаря этому они наиболее реакционноспособны, чем и объясняется столь значительное уменьшение их количества. Уменьшение содержания мальтозы и изомальтозы обусловлено протеканием гидролитических процессов и реакциями образования красящих и ароматических веществ.

**В пятой главе** изучен процесс получения солодового напитка. Были приготовлены опытные образцы солодовых напитков: № 1 (светлый ячменный солод – 80 %; ферментированный овсяной солод – 20 %) и № 2 (светлый ячменный солод – 80 %; ферментированный ржаной солод – 20 %) и контрольный образец (светлый ячменный солод – 80 %; карамельный солод – 20 %).

Исследован углеводный и аминокислотный состав суслу. Углеводный состав суслу, приготовленного с использованием ферментированного овсяного солода, состоял из глюкозы, мальтозы и мальтотриозы. Сусло имело полный состав аминокислот. Нужно отметить, что общее количество незаменимых аминокислот в сусле, приготовленном с использованием овсяного ферментированного солода, больше в 1,39 раза, чем в контрольном

образце. Это согласуется с литературными данными, потому что белки овса содержат больше незаменимых аминокислот.

Изучали процесс сбраживания солодового сусле с применением различных видов микроорганизмов при 8-10 °С в течение 18 ч. Установили, что количество сбраживаемых сахаров в сусле снизилось на 32,35 % (образец 1), на 28,73 % (образец 2) и на 31,78 % (контроль). Физико-химические показатели образцов солодовых напитков приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Показатели солодового напитка

Показатели	Значения			
	ГОСТ 54464-2011	Образец 1	Образец 2	Контроль
Массовая доля экстрактивных веществ, %	Не менее 2,0	3,50	3,50	3,50
Объемная доля спирта, %	1,5-7,0	2,10	2,20	2,10
Кислотность, ед. к.	Не более 10	2,30	2,35	2,28
Массовая концентрация сивушного масла, мг/100 см <sup>3</sup>	110-200			
- н-пропанол		0,35	0,40	0,40
- изоамиловый спирт		0,45	0,25	0,30
- изобутиловый спирт		121,50	123,00	125,00
Массовая доля CO <sub>2</sub> , %	Не менее 0,2	0,25	0,25	0,25

Установили, что опытные образцы напитков содержат изобутиловый и изоамиловый спирты в количестве 121,5-123,0 мг/100 см<sup>3</sup> и 0,25-0,45 мг/100 см<sup>3</sup> соответственно.

### Заключение

1. Обоснован выбор сорта овса Козырь по содержанию антиоксидантов (3,91 мг/100 г) и незаменимых аминокислот (3,911 мг % на сухое вещество).

2. Установлено влияние ферментного препарата Церемикс 6ХМГ в процессе проращивания в дозировке 0,6-0,9 кг/т на ферментативную способность овсяного солода: амилолитическая, протеолитическая и цитолитическая способность выше соответственно на 53,36-59,1 %, 38,7-60,7 %, 12,35-16,1 %, чем без применения ферментного препарата.

3. Определен белковый и углеводный состав овсяного солода в процессе его ферментации и сушки: увеличение содержания альбуминов и глобулинов на 20,8 %, уменьшение количества проламинов и глютелинов на 23,9 %; уменьшение содержания фруктозы, глюкозы, сахарозы, мальтозы и изомальтозы на 84,7, 50,2, 72,0, 61,4, 80,3 % соответственно.

4. Оптимизированы режимы проращивания овса: температура 18,2 °С, влажность солода 48,9 %, продолжительность процесса 4,8 сут, дозировка ферментного препарата 0,88 кг/т зерна; ферментация овсяного солода: температура 58-67 °С, влажность 52-54 %.

5. Предложен и обоснован способ производства:

- ферментированного овсяного солода, позволяющий уменьшить его себестоимость и сократить продолжительность стадии ферментации до 12-14 ч;
- солодового напитка «Карамельный», позволяющий расширить

ассортимент изделий.

6. Проведена промышленная апробация выпуска ферментированного овсяного солода в условиях АО «Брянскпиво» (г. Брянск) и выпуска солодового напитка «Карамельный» в условиях ООО «РейвенКрафт» (г. Воронеж).

Разработана технология приготовления ферментированного солода из овса и солодового напитка с его применением: подготовлена техническая документация на его производство: ТУ 9184-439-02068108-2017 «Солод ферментированный овсяный», ТИ 9184-439-02068108-2017; ТУ 9184-490-02068108-2018 «Солодовый напиток «Карамельный», ТИ 9184-490-02068108-2018.

Доказана экономическая целесообразность внедрения усовершенствованных технологий в производственную деятельность. Проведен расчет финансово-экономических показателей полученных разработок. Ожидаемый экономический эффект при производстве 18 000 т ферментированного овсяного солода в год составит 116 996,39 тыс. р.; при производстве 500 000 дал солодовых напитков в год - 531,86 тыс. р.

### Список работ, опубликованных автором по теме диссертации.

#### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Чусова, А.Е. Изменение ферментативной активности безглютенового солода в процессе проращивания и сушки / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, **А.В. Зеленькова**, Ю.В. Пожалова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. – № 2. – С. 198–203 (0,70 п.л.; лично соискателем - 0,23 п.л.).

2. Агафонов, Г.В. Применение математических методов планирования и прогнозирования ферментативной активности овсяного солода / Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, Е.С. Сапунова, **А.В. Зеленькова** // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 2. – С. 80-85 (0,70 п.л.; лично соискателем - 0,23 п.л.).

3. Агафонов, Г.В. Влияние ферментного препарата Цермикс 6ХМГ на показатели качества овсяного солода / Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, **А.В. Зеленькова**, В.Е. Плотников // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80. – № 3. – С. 128–133 (0,70 п.л.; лично соискателем - 0,23 п.л.).

#### Статьи и материалы конференций

4. Стратегия разработки технологии напитков с применением безглютенового сырья / А.Е. Чусова, **А.В. Зеленькова**, Н.С. Ковальчук, Г.В. Агафонов // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов II Международной научно-практической конференции. - 2016. – С. 416–419 (0,17 п.л.; лично соискателем - 0,04 п.л.).

5. Производство солодового напитка на основе безглютенового сырья [Текст] / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, **А.В. Зеленькова** // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов II Международной научно-практической конференции. - 2016. – С. 435–438 (0,17 п.л.; лично соискателем - 0,04 п.л.).

6. Возможность применения безглютенового сырья для производства продуктов функционального назначения / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, **А.В. Зеленькова**, М.А. Пономарева // Продовольственная безопасность: научное, кадровое

и информационное обеспечение: материалы III Международной научно-технической конференции. – 2016. – С. 137-141 (0,23 п.л.; лично соискателем - 0,05 п.л.).

7. Агафонов, Г.В. Совершенствование технологии красящих солодов в инновационном развитии АПК / Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, **А.В. Зеленькова** // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы II Международной научно-практической конференции. - 2016. – С. 274-278 (0,52 п.л.; лично соискателем - 0,15 п.л.).

8. Применение овса в пивоварении / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, **А.В. Зеленькова** // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы III Международная научно-техническая конференция. – 2016. – С. 309-311 (0,17 п.л.; лично соискателем - 0,04 п.л.).

9. Пожалова, Ю.В. Подбор дозировки ферментного препарата для проращивания овсяного солода / Ю.В. Пожалова, А.Е. Чусова, **А.В. Зеленькова** // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сборник научных статей и докладов III Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 385-387 (0,14 п.л.; лично соискателем - 0,03 п.л.).

10. **Зеленькова, А.В.** Перспективы применения ферментного препарата Церемикс 6XMG в технологии солода из нетрадиционного сырья / **А.В. Зеленькова**, Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова // Актуальные вопросы нутрициологии; биотехнологии и безопасности пищи: материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием. – 2017. – С. 167-169 (0,23 п.л.; лично соискателем 0,07 п.л.).

11. Исследование углеводного состава солодового сусла с применением овсяного ферментированного солода / **А.В. Зеленькова**, А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, Ю.В. Тюнина // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов. – 2018. – С. 543-546 (0,17 п.л.; лично соискателем 0,04 п.л.).

12. Разработка режима ферментации овсяного солода / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, **А.В. Зеленькова**, Ю.В. Тюнина // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы Международной научно-технической конференции. – 2018. – С. 214-217 (0,17 п.л.; лично соискателем - 0,04 п.л.).

13. Агафонов, Г.В. Исследование ферментативной активности солода из нетрадиционного сырья на разных этапах его производства / Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, **А.В. Зеленькова** // Материалы LVI отчетной научной конференции за 2017 год: В 3 ч. Ч. 1 – Воронеж, 2018. – С. 56 (0,12 п.л.; лично соискателем - 0,07 п.л.).

14. Агафонов, Г.В. Возможность применения овса в технологии ферментированного солода / Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, **А.В. Зеленькова** // Материалы LVII отчетной научной конференции за 2018 год: В 3 ч. Ч. 1. – Воронеж, 2019. – С. 19 (0,12 п.л.; лично соискателем - 0,07 п.л.).

15. Перспективы применения стимулятора роста в технологии производства солода из нетрадиционного сырья / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, **А.В. Зеленькова**, Ю.В. Пожалова // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы IV

Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 96-98 (0,23 п.л.; лично соискателем - 0,05 п.л.).

16. Повышение конкурентоспособности технологии ферментированного овсяного солода / **А.В. Зеленькова**, Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, Ю.В. Пожалова // Проблемы импортозамещения и безопасности регионального потребительского рынка: материалы форума. – 2018. – С. 51-53 (0,23 п.л.; лично соискателем - 0,05 п.л.).

17. Совершенствование технологии овсяного ферментированного солода / **А.В. Зеленькова**, Г.В. Агафонов, А.Е. Чусова, Ю.В. Тюнина // Пища. Экология. Качество: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции: В 2 т. Том 1. – 2019. – С. 310-312 (0,23 п.л.; лично соискателем - 0,05 п.л.).

18. Инновационный подход к созданию конкурентоспособных солодовых напитков / А.Е. Чусова, Г.В. Агафонов, К.К. Полянский, **А.В. Зеленькова** // Инновационное предпринимательство: теория и практика: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – 2019. – С. 194-197 (0,46 п.л.; лично соискателем - 0,1 п.л.).

### **Изобретения**

19. Патент на изобретение № 2644194 Ru МПК C12C 1/18 (2006.01) Способ производства ферментированного овсяного солода / **Зеленькова А.В.**, Агафонов Г.В., Чусова А.Е., Коротких Е.А., Новикова И.В., заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – № 2016143515; заявл. 07.11.2016; опубл. 08.02.2018, Бюл. № 4. – 7 с.

Подписано в печать 08.10.2020. Формат 60x84 1/16  
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 37

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
Адрес университета и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»:  
394036, Воронеж, пр. Революции, 19