

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



Паймулина Анастасия Валерияновна

**РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ,
ОБОГАЩЕННОГО БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ
БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 05.18.15 –

Технология и товароведение пищевых продуктов функционального
и специализированного назначения и общественного питания

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Ирина Юрьевна Потороко

Челябинск – 2020

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ОБОГАЩЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ	11
1.1 Факторы, определяющие риски возникновения неинфекционных заболеваний в Уральском регионе	11
1.2 Перспективы применения биологически активных пищевых ингредиентов для профилактики неинфекционных заболеваний в обогащении хлебобулочных изделий	15
1.3 Обоснование применения биологически активных веществ бурых водорослей как обогащающих пищевых ингредиентов в технологии хлебобулочных изделий	23
1.3.1 Состав, химическая природа и функциональные свойства биологически активных веществ бурых водорослей	23
1.3.2 Применяемые подходы и технологии при обогащении пищевых продуктов биологически активными веществами бурых водорослей.....	28
1.4 Технологическая пригодность фукоидана для обогащения хлебобулочных изделий, способы модификации для повышения эффективности.....	31
Заключение по главе 1	38
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
2.1 Схема проведения экспериментальных исследований	40
2.2 Объекты и методы исследования	42
ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ.....	58

3.1	Состояние потребительского рынка хлебобулочных изделий Российской Федерации	58
3.2	Анализ потребительских предпочтений при выборе изделий хлебобулочных	66
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ.....		70
4.1	Исследование свойств биологически активных веществ бурых водорослей и определение условий их размещения в пищевую систему хлеба	70
4.2	Исследование применения ультразвукового воздействия для регулирования структурных характеристик и биоактивности биологически активных веществ бурых водорослей	78
4.3	Оптимизация процесса ультразвукового микроструктурирования биологически активных веществ бурых водорослей для их размещения в пищевую систему изделий хлебобулочных	88
4.3.1	Определение рациональных режимов ультразвукового микроструктурирования биологически активных веществ бурых водорослей.....	88
4.3.2	Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на активность хлебопекарных дрожжей вида <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	95
4.3.3	Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на клейковинный комплекс муки пшеничной хлебопекарной	102
4.3.4	Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на процессы тестоведения в технологии хлебобулочных изделий	108
ГЛАВА 5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ, ОБОГАЩЕННОГО		

МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ	116
5.1 Разработка рецептуры и технологических режимов производства хлеба из пшеничной муки, обогащенного микроструктурированными биологически активными веществами бурых водорослей	116
5.2 Комплексная товароведная оценка качества хлеба из пшеничной муки, обогащенного микроструктурированными биологически активными веществами бурых водорослей	118
5.2.1 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на органолептические показатели хлеба	118
5.2.2 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на физико-химические показатели хлеба	121
5.3 Исследование термостабильности фукоидана после выпечки хлеба	128
5.4 Оценка качества хлеба «Антистресс» в процессе хранения	129
5.5 Исследование стресс-протекторного действия хлеба «Антистресс» в клинических исследованиях <i>in vivo</i>	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	145
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Документы, отражающие результаты апробации, производственных испытаний и внедрения результатов работы	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Образцы документов, заполняемых участниками клинических исследований	178
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Нормативные документы на пищевые ингредиенты, содержащие фукоидан	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Анкета для исследования потребительских предпочтений при выборе изделий хлебобулочных	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время наблюдается значительный рост заинтересованности потребителей, проживающих на территориях, имеющих высокую техногенную нагрузку, в продуктах питания, оказывающих максимальный профилактический эффект для здоровья. Известно, что в совокупности с неблагоприятными факторами окружающей среды неполноценное питание способствует возникновению и развитию неинфекционных заболеваний (НИЗ).

Принятая Генеральной Ассамблеей ООН в 2016 г. Программа «Десятилетие действий ООН по проблемам питания, 2016–2025 годы» предполагает формирование устойчивых и невосприимчивых к внешним воздействиям продовольственных систем, способствующих улучшению рационов питания. Программа призывает искоренить голод и все формы неполноценного питания (недоедание, дефицит микронутриентов, избыточный вес и ожирение), а также сократить долю связанных с питанием НИЗ во всех возрастных группах [22].

Актуальность вопроса также отражается в Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р), которая ориентирована на обеспечение полноценного питания, профилактику заболеваний, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. В качестве актуальных направлений реализации Стратегии можно выделить развитие научных исследований в области питания населения, а также разработку технологий производства продуктов питания повышенной пищевой ценности [91].

В связи с этим хлеб и хлебобулочные изделия, являясь социально значимыми продуктами, могут стать реальным инструментом восполнения недостающих человеку нутриентов или быть источником биологически активных веществ (БАВ) направленного действия. Безусловно, введение обогащающих

растительных ингредиентов в рецептуру изделий хлебобулочных должно не только повышать их пищевую ценность, но и обеспечивать необходимые качественные характеристики готовых продуктов.

В настоящее время в мировой науке накоплен обширный материал, свидетельствующий о применении биологически активных веществ бурых морских водорослей в качестве адаптогенных ингредиентов. При этом особого внимания заслуживают биологически активный сульфатированный гетерополисахарид фукоидан, соли альгиновых кислот, а также йод в органической форме, которые обладают доказанными лечебно-профилактическими свойствами в отношении НИЗ (в том числе вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом). В связи с этим разработка изделий хлебобулочных, обогащенных БАВ бурых водорослей, представляется актуальным направлением, что позволит расширить ассортимент продукции лечебно-профилактического действия и, как следствие, повысить пищевой статус населения, проживающего в условиях экологически напряженных территорий.

Работа проводилась в рамках программы Правительства РФ (постановление № 211 от 16.03.2013), соглашение № 02.А03.21.0011 и при финансовой поддержке государственного задания № 40.8095.2017/БЧ (2017123-ГЗ).

Степень разработанности проблемы. Весомый вклад в научное развитие биохимических основ производства хлебобулочных изделий внесли известные отечественные ученые Л.Я. Ауэрман и Н.П. Козьмина. Работы В.Я. Черных, С.Я. Корячкиной, Н.И. Давыденко, В.М. Позняковского и др. послужили основой для исследований в области влияния обогащающих ингредиентов на технологические процессы и качество изделий хлебобулочных, что подтверждено в работах А.С. Маркова, Н.В. Лейберовой, Н.Б. Трофимовой, , М.К. Садыговой, В.А. Буховец, а также зарубежных ученых P. Allsopp, U. Gawlik-Dziki, C. Graca, S. Plazzotta, M.A. Saccotelli, D.M. Salazar и др.

Возможности использования в составе пищевых продуктов экстрактов, полученных из бурых водорослей, достаточно полно представлены в работах

Л.Н. Гришиной, В.А. Ляха, Т.К. Каленик, Т. Kawashima, V.D. Savant, N.C. Moroney и др.

Вместе с тем влияние БАВ, экстрагированных из бурых водорослей, на биохимические процессы в технологии изделий хлебобулочных изучено недостаточно. При анализе доступных источников информации не выявлены способы повышения биотехнологической активности обогащающего ингредиента в составе пищевой матрицы продукта. В связи с этим определение рациональных методов модификации БАВ бурых водорослей для обеспечения их эффективности в составе пищевой матрицы изделий хлебобулочных представляется актуальным направлением.

Целью работы является совершенствование технологии и оценка качества хлеба из пшеничной муки, обогащенного биологически активными веществами бурых водорослей, микроструктурированными с применением ультразвука.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1) обосновать применение БАВ бурых водорослей в качестве обогащающих ингредиентов хлебобулочных изделий для профилактики НИЗ;

2) исследовать состояние регионального рынка обогащенных хлебобулочных изделий и провести анализ потребительских предпочтений при выборе хлеба для обоснования направлений исследований;

3) исследовать свойства БАВ бурых водорослей, реализуемых на потребительском рынке в качестве пищевых ингредиентов, определить способы их модификации с целью эффективного использования в технологии хлебобулочных изделий;

4) изучить влияние микроструктурированных БАВ бурых водорослей на основные биотехнологические процессы при производстве хлебобулочных изделий;

5) разработать рецептуру и технологические режимы производства хлеба из пшеничной муки, обогащенного микроструктурированными БАВ бурых водорослей, провести товароведную оценку качества, оценить его эффективность в клинических исследованиях *in vivo*.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 2, 4, 5 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15.

На основании анализа литературных данных и проведенных экспериментальных исследований:

– теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что низкочастотное ультразвуковое воздействие в режиме 630 Вт/л в течение 20–30 мин с использованием охлаждающей рубашки для микроструктурирования БАВ бурых водорослей обеспечивает изменение структурных характеристик полисахаридного комплекса, состоящего из фукоидана и альгината натрия (размеры частиц в среднем снижаются в 30–40 раз) во взаимосвязи с биологической активностью (увеличение АОА в среднем на 3,8 %, прирост биомассы *Paramecium caudatum* на 30 %) (п. 2 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15);

– получены новые данные о влиянии микроструктурированных БАВ бурых водорослей на биохимические процессы в технологии хлебобулочных изделий. Определено, что процесс микроструктурирования увеличивает доступность БАВ бурых водорослей для дрожжевых клеток, наблюдается сокращение длительности их активации на 1,5 ч, прирост биомассы дрожжей увеличивается на 38 %. Подтверждена эффективность их использования в технологии хлеба для интенсификации процесса тестоведения (п. 2 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15);

– впервые получены данные, подтверждающие целесообразность применения микроструктурированных БАВ бурых водорослей в качестве адаптогенного ингредиента (снижение уровня кортизола на 20 %) для получения обогащенных хлебобулочных изделий, что подтверждено в исследованиях на модели *in vivo* (п. 4 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15);

– разработана рецептура и технологические режимы производства хлеба «Антистресс», обогащенного микроструктурированными БАВ бурых водорослей, способствующего увеличению стресс-резистентности организма человека при потреблении. На основе товароведной оценки качества хлеба «Антистресс»

установлено положительное влияние микроструктурированных БАВ бурых водорослей на сохранение его потребительских свойств (рекомендовано увеличить сроки хранения на 36 ч) (п. 2, 4 и 5 Паспорта специальности ВАК РФ 05.18.15).

Теоретическая и практическая значимость заключается в обосновании использования микроструктурированных БАВ бурых водорослей в технологии производства хлебобулочных изделий.

Разработаны рецептура и технология хлеба «Антистресс» из пшеничной муки (СТО 02066724-020-2020), проведена его товароведная оценка качества. Результаты исследований подтверждены опытно-промышленной апробацией в условиях действующего предприятия – ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ», что подтверждается актом о проведении производственных испытаний и актом о выработке опытных партий.

Разработанная технология может быть рекомендована для предприятий различной мощности и форм собственности, производящих хлебобулочную продукцию.

По результатам работы поданы и зарегистрированы заявки на изобретение в ФГБУ ФИПС: «Способ производства хлеба специализированного назначения» (№ 2656892 от 07.06.2018); «Способ производства хлеба» (№ 2668096 от 26.09.2018); «Способ микронизации фукоидана» (№ 2707872 от 02.12.2019).

Результаты работы представлены на конкурсах, награждены дипломами и медалями: молодежный научно-инновационный конкурс «УМНИК» (договор № 8512ГУ/2015 от 16.12.2015); VII международный стартап-фестиваль кулинарного искусства «Национальная кухня: вчера, сегодня, завтра» (Республика Беларусь, г. Могилев, 2018, дипломы I и II степени).

Методология и методы исследования. Методологической основой работы являются труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам применения БАВ в производстве обогащенной хлебобулочной продукции. Для решения поставленных задач применялись общенаучные и специальные методы исследований. Исследования проводились в 3–5-кратной повторности.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов определяется большим объемом экспериментальных данных, обработанных методами расчета статистической достоверности измерений с использованием серии компьютерных программ Microsoft Office Word и Excel для Windows 7, OriginPro 8.0 SR5.

Основные положения и результаты работы докладывались на конференциях, форумах и выставках: Межрегиональная агропромышленная выставка УрФО, (Курган, 2016; серебряная медаль); XVIII Российская агропромышленная выставка «Золотая осень 2016» (Москва, 2016; золотая медаль); XXIV Областная агропромышленная выставка «АГРО-2017» (Челябинск, 2017; золотая медаль); NuGOweek 2017. Molecular Nutrition – Understanding How Food Influences Health (Medical University of Varna, Bulgaria, 2017); IX Евразийский экономический форум молодежи (Екатеринбург, 2018; диплом III степени); научно-практическая конференция «Продукты питания для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний» (Санкт-Петербург, 2019); XX Российская агропромышленная выставка «Золотая осень 2019» (Москва, 2019; серебряная медаль).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликована 21 научная работа, в том числе 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 публикации в изданиях, рецензируемых в международных базах данных и системах цитирования Web of Science и Scopus, а также 3 патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из пяти глав, в том числе аналитического обзора научно-технической литературы, методической части, результатов исследования и их анализа, списка литературы и четырех приложений. Основное содержание изложено на 168 страницах печатного текста и включает 36 таблиц и 33 рисунка. Список литературы насчитывает 203 источника, из них 91 – зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ОБОГАЩЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

1.1 Факторы, определяющие риски возникновения неинфекционных заболеваний в Уральском регионе

В настоящее время наблюдается значительный рост заинтересованности потребителей, проживающих на территориях, имеющих высокую техногенную нагрузку, в продуктах питания профилактической направленности, которые обеспечивают максимальный эффект для здоровья. Известно, что в совокупности с неблагоприятными факторами окружающей среды неполноценное питание способствует возникновению и развитию многих заболеваний.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), каждый третий житель планеты в той или иной форме питается неполноценно. Мировая статистика показывает, что более 800 млн человек в мире страдают от недоедания, около 150 млн детей в возрасте до 5 лет отстают в росте, свыше 2 млрд человек страдают от дефицита микронутриентов. В целом проблема неполноценного питания обходится мировой экономике в 3,5 млрд долларов в год [8].

О заинтересованности мирового сообщества в создании сегмента рынка продуктов для здоровья свидетельствуют принятые в этом направлении документы, среди которых разработанная под эгидой Организацией Объединенных Наций (ООН) Программа «Десятилетие действий ООН по проблемам питания, 2016–2025 годы». Данный документ – новое масштабное начинание международного сообщества в области питания, которое призвано искоренить голод и все формы неполноценного питания (недоедание, дефицит микронутриентов, избыточный вес и ожирение), а также сократить долю

связанных с питанием неинфекционных заболеваний (НИЗ) во всех возрастных группах [22].

Проблема ежегодного роста НИЗ наиболее характерна для регионов повышенного экологического риска, к числу которых относится Уральский федеральный округ, в том числе Челябинская область как центр промышленного производства, черной металлургии и ядерных технологий.

На территории Челябинской области зарегистрировано свыше 90 тыс. предприятий и организаций всех форм собственности. При этом количество хозяйствующих субъектов, осуществляющих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу области, в 2018 г. составляло 25 861 ед. согласно Федеральному статистическому наблюдению по форме № 2-ТП (воздух) «Сведения об охране атмосферного воздуха» [23].

Официальные данные указывают, что в 2018 г. в атмосферу г. Челябинска стационарными источниками было выброшено 486,486 тыс. т загрязняющих веществ, количество выбросов от передвижных источников (включая железнодорожный транспорт) составило 346,8 тыс. т. Более 80 % всех выбросов и сбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты формируется крупнейшими предприятиями и организациями области: ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ПАО «Челябинский металлургический комбинат», АО «Челябинский электрометаллургический комбинат», ЗАО «Карабашмедь», филиал ПАО «ОГК-2» «Троицкая ГРЭС», ОАО «Уфалейникель» и др. При этом индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА), характеризующий степень загрязнения, в 2018 г. в г. Челябинске оценивается как «повышенный», в Магнитогорске и Златоусте – «высокий» [46].

В Уральском регионе воздействию негативных техногенных факторов в наибольшей степени подвержены территории Ханты-Мансийского автономного округа, Свердловской и Челябинской областей. Так, по данным открытых источников информации, в 2018 г. среднегодовая эффективная доза облучения от всех видов излучения на одного жителя Челябинской области составила 4,399 мЗв/год (в 2017 г. по Челябинской области – 4,624 мЗв, по Российской

Федерации – 3,866 мЗв). Вклад в коллективную эффективную дозу облучения населения от различных источников составил: от деятельности предприятий, использующих источники ионизирующего излучения, – 0,25 %; от стратосферных выпадений техногенных радионуклидов и от радиационных аварий прошлых лет – 0,13 %; от медицинских исследований – 11,9 %. Наибольший вклад в суммарную дозу внесли природные источники излучения – 87,72 %; к примеру, на территории Свердловской области средняя годовая эффективная доза облучения от торона (1 мЭв) более чем на порядок превышает среднемировую (0,07 мЭв/год) [23].

Сложная экологическая обстановка формирует серьезную проблему, связанную с поступлением и задержкой в организме человека продуктов деятельности промышленных предприятий, в том числе тяжелых металлов и радионуклидов. Необходимо отметить ряд заболеваний, рассматриваемых ВОЗ в качестве индикаторов качества среды обитания, которые в Уральском регионе существенно превышают среднероссийские показатели: анемия – на 20,37 % (1,2 раза), астма, астматический статус – на 165,46 % (2,65 раза), язва желудка и двенадцатиперстной кишки – на 30,43 % (1,33 раза), гастрит, дуоденит – на 46,63 % (1,26 раза), врожденные аномалии – на 72,97 % (1,73 раза), сахарный диабет II типа – на 0,5 % [108].

Анализ НИЗ, превалирующих на территории Уральского региона, показывает влияние экологической ситуации на распространенность заболеваний и частоту их проявления. В Челябинской области, как и в целом по Российской Федерации, наибольшая доля смертности обусловлена болезнями системы кровообращения (45,0 % всех смертей в области), новообразованиями (18,3 %) и внешними причинами смерти (9,0 %) [46].

Для населения Челябинской области весьма остро стоит проблема злокачественных новообразований (ЗНО). Со временем наблюдается устойчивая тенденция к росту онкологической заболеваемости среди населения. В 2017 г. в Челябинской области впервые в жизни выявлено 16 543 случая ЗНО. По данному показателю Челябинская область находится на шестом месте среди субъектов

Российской Федерации и на втором месте среди других регионов Уральского федерального округа.

Сопоставляя экологические риски с динамикой НИЗ и соотношением основных видов заболеваний, следует отметить еще одну проблему, связанную с удаленностью территории Уральского региона от акваторий морских и океанических вод. По статистике Глобальной сети по борьбе с дефицитом йода (Iodine Global Network), в 2017 г. 19 стран мира были классифицированы как страны с недостаточным потреблением йода среди населения. В этом списке Россия занимает третье место, не имея в своем составе территорий, свободных от йодного дефицита [151].

Ежедневная потребность в йоде зависит от возраста и физиологического состояния человека. ВОЗ рекомендует следующие суточные дозы потребления йода (таблица 1).

Таблица 1 – Физиологическая суточная потребность отдельных групп населения в йоде (по данным ВОЗ, ЮНИСЕФ и Международного совета по контролю за йододефицитными заболеваниями, 2007)

Группы людей	Потребность в йоде, мкг/сут
Дети до 1 года	50
Дети младшего возраста (от 2 до 6 лет)	90
Дети от 7 до 12 лет	120
Молодые люди (от 12 лет и старше) и взрослые	150
Беременные и женщины в период грудного вскармливания	200
Люди пожилого возраста	100

По данным НМИЦ эндокринологии, по состоянию на начало 2018 г. фактическое среднее потребление йода жителями России было в три раза ниже установленной ВОЗ пороговой нормы (150–250 мкг) и составляло всего 40–80 мкг в день. При этом ежегодно в специализированной эндокринологической помощи нуждаются более 1,5 млн взрослых и 650 тыс. детей с заболеваниями щитовидной

железы, основная причина которых – недостаток йода [107; 109]. В условиях йодного дефицита возрастает риск развития рака щитовидной железы и других тяжелых заболеваний. Заболевания, вызванные дефицитом йода, можно эффективно предупредить путем включения в рацион питания продуктов, обогащенных органическим йодом.

На основании вышеизложенного материала можно сделать заключение о важности профилактических мероприятий в отношении НИЗ, а в качестве одного из инструментов профилактики могут выступать продукты питания, обогащенные биологически активными пищевыми ингредиентами (далее – БАПИ). Вместе с тем важно разобраться, за счет каких нутриентов в составе продукта возможно получить положительные эффекты. Одним из признанных медицинским сообществом путей решения проблемы НИЗ является включение в рационы населения пищевых продуктов, содержащих в своем составе БАПИ, благоприятно действующие на процессы обмена веществ в организме человека и способствующие укреплению иммунной системы, особенно в отношении НИЗ.

Основным критерием для определения БАПИ, используемого для обогащения в последующих исследованиях, являлось его сродство с основными компонентами пищевой матрицы обогащаемого продукта, а также комплексность воздействующего начала обогатителя.

1.2 Перспективы применения биологически активных пищевых ингредиентов для профилактики неинфекционных заболеваний в обогащении хлебобулочных изделий

Согласно мнению большого количества отечественных и зарубежных ученых, привлекательными для обогащения в целях профилактики НИЗ продуктами питания являются хлебобулочные изделия. Хлеб и хлебопродукты являются важнейшими продуктами питания в жизни россиян, обеспечивая свыше

30 % суточного поступления энергии, 25–30 % белков, 30–40 % углеводов. По частоте потребления они находятся на первом месте у всех групп населения, что делает этот продукт «социальным». Регулярный прием хлеба вместе с пищей имеет большой физиологический смысл, так как хлеб придает массе поглощаемой пищи благоприятную консистенцию и структуру, способствующую наиболее эффективной работе пищеварительного тракта и наиболее полному смачиванию пищи пищеварительными соками [5; 6; 34; 51; 52; 53; 93].

Как правило, с точки зрения потребителя, хлеб должен иметь низкий гликемический индекс, быть источником белка, пищевых волокон, витаминов, магния, кальция и антиоксидантов [88]. Необходимость направленного регулирования химического состава хлебобулочных изделий с целью получения продуктов для обеспечения лечебно-профилактического действия в отношении НИЗ, в том числе вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом, позволит **повысить пищевой статус населения**, проживающего в условиях экологической напряженности территорий Уральского региона.

В целях установления наиболее приемлемых БАПИ в технологии обогащения хлеба и хлебобулочных изделий был проанализирован ресурсный потенциал пищевых ингредиентов (ПИ), рекомендованных по результатам научных исследований.

Анализ доступных ресурсов научной электронной библиотеки Elibrary.ru показал, что по ключевой фразе «пищевые ингредиенты» максимально релевантно идентифицируется 4 384 документа, в том числе по обогащению хлеба и хлебобулочных изделий – 397 и 532 документа соответственно. Поисковая система на термины «пищевой ингредиент», «обогащающие пищевые ингредиенты», «пищевой ингредиент направленного действия» указала на 310 документов, а применительно к хлебобулочным изделиям идентифицировалось 45 документов.

Международные базы данных (далее – БД) Scopus и Web of Science идентифицировали 30 525 документов научных исследований в области «food ingredient». Основные лидеры научных исследований по странам – США (6 438 документов), Китай (2 637 документов), Великобритания (1 737 документов).

Применительно к технологии хлебобулочных изделий идентифицировано 611 документов по поисковому запросу «bread fortification» и 170 документов по определению «food ingredients in the bakery industry». Общее количество научных разработок в части ПИ направленного действия – 950 документов, а лидеры в данных научных исследованиях – США, Германия, Великобритания, Канада, Италия, Китай.

В качестве ПИ широко представлены технологические улучшители растительного, животного, микробного происхождения, а также витаминно-минеральные комплексные препараты. Группа растительных ПИ является наиболее многочисленной и включает продукты переработки зерновых, бобовых, масличных, плодовоовощных культур и растительное водное сырье [142].

С целью установления применимости разработанных обогащающих ПИ для профилактики НИЗ обобщенные результаты аналитической оценки научных предложений к внедрению, представленных на сайте Федерального института промышленной собственности (ФИПС) и в литературных источниках, представлены в таблице 2.

Анализ представленных в таблице 2 характеристик пищевых ингредиентов позволяет выделить БАПИ, обладающие максимальным сродством по химической природе с основными компонентами пищевой матрицы хлеба и доказанными физиологическими свойствами для профилактики рисков возникновения наиболее распространенных НИЗ среди населения Уральского региона.

Наиболее приемлемыми для целей обогащения с учетом обозначенных выше характеристик являются, на наш взгляд, БАПИ, экстрагированные из бурых водорослей, в частности водорастворимые полисахариды – фукоидан и соли альгиновых кислот. Однако необходимо детально изучить свойства данных ПИ и их применимость для минимизации рисков возникновения НИЗ.

Таблица 2 – Характеристика пищевых ингредиентов, рекомендованных для использования в технологии пищевых систем хлебобулочных изделий (по материалам ФИПС и литературных источников)

№ п/п	Наименование ПИ	Функциональные характеристики ПИ	Физиологическая активность ПИ в отношении НИЗ	Источник информации по разработке
<i>Группа растительных пищевых ингредиентов</i>				
1	Отруби и зародыш пшеницы	Обогащение пищевыми волокнами, витаминами группы В, ПНЖК	Профилактика ожирения, заболеваний желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистых заболеваний	R.F. Voita et al. [121]
2	Мука из овсяных отрубей, полученная путем дезинтеграционно-волнового помола	Обогащение пищевыми волокнами, витаминами и минеральными веществами	Профилактика заболеваний сердечно-сосудистой системы (атеросклероз, повышенное артериальное давление)	Патент РФ № 2654103. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности [78]
3	Цельносмолотая мука из пророщенного зерна пшеницы	Повышение биологической ценности, антиоксидантной активности (АОА). Обогащение γ -аминомасляной кислотой	Профилактика ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний, онкологических заболеваний, диабета II типа	Н.В. Науменко [39]
4	Семена масличных культур (например кунжут, лен, рапс), нутовый гидролизат	Обогащение пищевыми волокнами, витаминами (группы В, РР) и минеральными веществами (калий, кальций, магний, фосфор, железо, селен), ПНЖК	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта (язвенная болезнь желудка, двенадцатиперстной кишки, гастрит), сердечно-сосудистых заболеваний	Патент РФ № 2345531. Способ приготовления хлеба «Полевой» [59]
5	Органогель (моноглицерид) из оливкового масла экстракласса и отруби	Обогащение пищевыми волокнами, ПНЖК	Профилактика заболеваний нарушенного углеводного обмена и желудочно-кишечного тракта	М.А. Saccotelli et al. [185]
6	Мука белковая полуобезжиренная амарантовая	Повышение биологической ценности, корректировка витаминно-минерального состава (обогащение натрием, железом и тиамином)	Профилактика ишемической болезни сердца и атеросклероза, диабета, ожирения, онкологических заболеваний и ослабленного иммунитета	Патент РФ № 2616840. Хлеб «Амарантовый». Патент РФ № 2689535. Способ производства пшеничного булочного изделия с амарантовым обогатителем [74; 81]

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование ПИ	Функциональные характеристики ПИ	Физиологическая активность ПИ в отношении НИЗ	Источник информации по разработке
7	Жидкий экстракт киноа	Обогащение клетчаткой, кальцием и железом. Увеличение содержания полифенолов	Профилактика оксидативного стресса	D.M. Salazar et al. [186]
8	Мука из листьев салата Айсберг	Повышение АОА и количества пищевых волокон	Профилактика заболеваний нарушенного углеводного обмена и желудочно-кишечного тракта, оксидативного стресса	S. Plazzotta et al. [177]
9	Кедровая мука	Обогащение макро- и микронутриентами (кальцием, магнием, фосфором, железом, йодом, витаминами B ₁ , PP, E), корректировка аминокислотного состава белков	Профилактика заболеваний сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта	И.В. Калинина [27]
10	Гречневая мука, порошок из клубней топинамбура, семена льна	Создание специализированного хлеба геродиетического назначения	Заболевания пищеварительной системы (хронический гастрит, холецистит, панкреатит, колит)	Патент РФ № 2544090. Способ производства специализированного хлеба геродиетического назначения [69]
11	Соевое молоко, заквашенное с помощью культуральной жидкости <i>Medusomyces gisevi</i>	Обогащение макро- и микронутриентами, изофлавонами. Повышение биологической ценности (аминокислотный состав)	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта, оксидативного стресса, нормализация микрофлоры кишечника	Патент РФ № 2526651. Способ производства пшеничного хлеба [68]
12	Цельнозерновая мука полбы, льняная мука, мука из бобов люпина	Увеличение содержания пищевых волокон, снижение гликемического индекса, гармоничность аминокислотного состава и соотношения «белки-углеводы»	Профилактика метаболических нарушений, сахарного диабета, избыточной массой тела, ослабления иммунной системы, пищевой глютеновой аллергией, аллергических дерматитов, заболеваний желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы (атеросклероз, повышенное артериальное давление)	Патент РФ № 2702089. Хлеб повышенной пищевой ценности и способ его изготовления [85]

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование ПИ	Функциональные характеристики ПИ	Физиологическая активность ПИ в отношении НИЗ	Источник информации по разработке
13	Семена и измельченный шрот фенхеля (<i>Foeniculum vulgare L.</i>)	Повышение биологической ценности. Увеличение АОА	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта, оксидативного стресса	U. Adhikari et al. [113]
14	Мука из скорлупы и околоплодных оболочек орехов кедровой сосны сибирской (<i>Pinns sibirica Du Tour</i>) и корейской (<i>Pinns koraiensis Siehold et Zucc</i>)	Обогащение пищевыми волокнами, в том числе клетчаткой и лигнином	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта, атеросклероза	Г.Ю. Бахтин [4]
15	Зерна тритикале	Увеличение содержания макро- и микроэлементов (витаминов группы В, РР, Е, калия, натрия, хлора, железа, меди, йода, марганца)	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, мочевых путей	Патент РФ № 2690424. Способ производства диетического хлеба «Тритикалевый» [82]
16	Топинамбур	Увеличение содержания пищевых волокон, макро- и микроэлементов снижение гликемического индекса	Профилактика сахарного диабета	Патент РФ № 2673734. Способ приготовления хлеба для диабетических больных [80]
Растительные гидробионты				
17	Смесь порошков морских бурых водорослей (<i>Laminaria japonica, Costaria costata, Undaria pinnatifida</i>), гречневая мука	Улучшение пищевой и биологической ценности. Обогащение органическим йодом	Профилактика йододефицитных заболеваний щитовидной железы	Патент РФ № 2611824. Состав для производства хлеба с гречневой мукой [72]
18	Микроводоросли <i>Chlorella vulgaris</i>	Улучшение пищевой и биологической ценности	Профилактика йододефицитных заболеваний щитовидной железы	С. Graca et al. [145]
19	Бурые водоросли <i>Ascophyllum nodosum</i>	Улучшение пищевой и биологической ценности. Увеличение АОА	Профилактика оксидативного стресса. Профилактика йододефицитных заболеваний щитовидной железы, иммунодефицитных состояний	R. Rozylo et al. [183]

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование ПИ	Функциональные характеристики ПИ	Физиологическая активность ПИ в отношении НИЗ	Источник информации по разработке
20	Красные морские макроводоросли <i>Palmaria palmata</i>	Улучшение пищевой и биологической ценности. Обогащение органическим йодом	Профилактика оксидативного стресса, йододефицитных заболеваний щитовидной железы	P. Allsopp et al. [115]
21	БАД к пище «Фуколам-С», состоящая из полисахаридов бурой водоросли <i>Fucus evanescens</i>	Обогащение иммуноактивными полисахаридами и пищевыми волокнами	Профилактика заболеваний нарушенного углеводного обмена, желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы, йододефицитных заболеваний щитовидной железы, онкологических заболеваний и ослабленного иммунитета	Патент РФ № 2399209. Композиция для приготовления теста для хлеба пшеничного «Дары моря» [62]
22	Ламиналь-биогель, полученный из морской бурой водоросли <i>Laminaria japonica</i>	Улучшение пищевой и биологической ценности	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта, нормализация микрофлоры кишечника, снижение уровня холестерина и сахара в крови, выведение из организма радионуклидов и тяжелых металлов, служит дополнительным источником йода	Патент РФ № 2405311. Состав для приготовления диетического ржано-пшеничного хлеба [63]
23	Микроводоросли спирулины <i>Spirulina platensis</i>	Обогащение микро- и макроэлементами, хлорофиллом и фикоцианином	Профилактика заболеваний сердечно-сосудистой системы, сахарного диабета, онкологических заболеваний	Л.Н. Гришина [21]
24	Водно-этанольный экстракт бурых водорослей <i>Fucus evanescens</i> на основе фукоидана	Обогащение иммуноактивными полисахаридами, хлорофиллом, органическим йодом	Профилактика оксидативного стресса, заболеваний печени, йододефицитных, онкологических заболеваний и ослабленного иммунитета	В.А. Лях [35]

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование ПИ	Функциональные характеристики ПИ	Физиологическая активность ПИ в отношении НИЗ	Источник информации по разработке
<i>Группа пищевых ингредиентов животного происхождения, микробиальных препаратов, витаминно-минеральных премиксов</i>				
25	Творожная сыворотка	Улучшение пищевой и биологической ценности	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта	Патент РФ № 2452183. Способ производства пшеничного зернового хлеба [65]
26	L-лизина моногидрохлорид	Улучшение пищевой и биологической ценности с повышением сора лизина. Обогащение кальцием	Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний, иммунодефицитных состояний	Патент РФ № 2240692. Способ приготовления хлеба [55]
27	БАД к пище «Лактусан» и «Эуфлорин-В»	Улучшение пищевой и биологической ценности. Обогащение лактулозой, бифидо- и лактобактериями, активными эубиотическими микроорганизмами, а также витаминами (группы В, Н, РР, С, Е)	Профилактика заболеваний желудочно-кишечного тракта, нормализация микрофлоры кишечника	А.В. Сарсадских [95]
28	Комплекс «Хитозан-йодид калия-пектин»	Обогащение органическим йодом	Профилактика йододефицитных заболеваний щитовидной железы	Патент РФ № 2474123. Способ производства йодированного хлеба [67]
29	Дигидрокверцитин	Увеличение АОА	Профилактика оксидативного стресса	И.В. Калинина [28]
30	Витаминно-минеральная добавка «Валетек-8»	Обогащение витаминами и минеральными веществами (витамины группы В, РР, фолиевая кислота, железо, кальций)	Профилактика витаминно-железодефицитной анемии, рахита у детей и остеопороза у пожилых людей	Патент РФ № 2265335. Состав для приготовления хлеба [56]
31	БАД «Маралдар»	Обогащение макро- и микронутриентами (кальций, фосфор, железо, витамины группы В)	Профилактика заболеваний сердечно-сосудистой, опорно-двигательной систем, желудочно-кишечного тракта	Н.Б. Трофимова [102]

1.3 Обоснование применения биологически активных веществ бурых водорослей как обогащающих пищевых ингредиентов в технологии хлебобулочных изделий

1.3.1 Состав, химическая природа и функциональные свойства биологически активных веществ бурых водорослей

В последнее время значительно возрос интерес к растительным гидробионтам как источникам биологически активных соединений. Учитывая, что океаны покрывают более 70 % земной поверхности, количество растительных водных ресурсов в качестве источника БАВ практически неисчерпаемо [190]. В течение последних десятилетий из морских организмов были выделены многочисленные химические соединения, многие из которых являются потенциальным ресурсом для промышленной индустрии функциональных пищевых продуктов и фармацевтических препаратов [118].

Значительный массив данных по химическому составу бурых водорослей накоплен учеными Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН. Учеными Института А.И. Усовым, М.И. Биланом и др. проведено комплексное исследование особой группы полисахаридов – фукозилированных хондроитинсульфатов, найденных в морских огурцах. Установлено, что величина биологического эффекта в отношении антикоагулянтных и антитромботических свойств определяется именно тонкими деталями структуры полимера [105; 106].

Известно, что морские бурые водоросли благодаря уникальному химическому составу могут обеспечить пищевой рацион человека такими специфичными веществами, как йодсодержащие аминокислоты, флоротаннины, полисахариды, витамины. Бурые макроводоросли продуцируют различные типы полисахаридов и (или) волокон, которые могут достигать до 70 % их сухого веса. Среди них биологическую активность способны проявлять ламинараны, фукоиданы, альгиновые кислоты и их соли. Содержание и структурные характеристики полисахаридов, упомянутых выше, различаются в зависимости от вида водоросли, сезона сбора, возраста водорослей и других факторов [87].

Экстракты композиций БАВ, выделенные из бурых водорослей, широко исследованы. Так, в БД Elibrary количество публикаций по данной тематике составляет 1 420 единиц, а в БД Scopus и Web of Science с терминами «brown algae» и «brown algae extract» – 10 299 и 1 728 публикаций соответственно. Основные исследования представлены публикациями ученых из Южной Кореи (306), Японии (173), Индии (159), США (1 551).

Основные направления исследований связаны с раскрытием потенциала полисахаридов бурых водорослей в качестве биополимеров для образования полимерных микросфер и их наполнением БАВ для эффективной доставки и контролируемого высвобождения нагруженного вещества [138].

Значительная часть исследований направлена на повышение эффективности экстракции БАВ из бурых водорослей. В частности, в работах M.D. Nanjaba и других ученых из Индии показано, что ультразвук может служить эффективным инструментом для извлечения сульфатированного полисахарида из морских водорослей, обеспечивая более высокий выход, и может быть включен в различные системы питания [147].

Результаты исследования химического состава некоторых представителей бурых водорослей, собранных в летний период (июнь – июль) в прибрежных водах Дальневосточного региона России, включая побережья Приморья, Камчатки и Сахалина, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав некоторых представителей бурых водорослей, % на сухую массу [1; 2]

Вид водоросли	Липиды	Белок	Минеральные вещества	Йод	Маннит	Альгиновая кислота	Фукоидан
<i>Fucales</i> – фукусовые водоросли							
<i>Fucus evanescens</i>	1,12	10,0	18,6	0,007	5,5	36,4	6,04
<i>Cystoseira crassipes</i>	0,6	10,9	12,9	0,002	5,6	34,6	5,4
<i>Fucus vesiculosus</i>	1,15	9,4	17,9	0,006	5,4	34,9	7,2
<i>Sargassum pallidum</i>	0,82	5,6	10,7	0,011	10,3	26,7	4,0

Продолжение таблицы 3

Вид водоросли	Липиды	Белок	Минеральные вещества	Йод	Маннит	Альгиновая кислота	Фукоидан
<i>Laminariales</i> – ламинариевые водоросли							
<i>Laminaria japonica</i>	2,10	9,7	20,7	0,22	12,8	26,3	2,54
<i>L. bongardiana</i>	0,88	8,3	10,5	0,12	15,3	34,1	3,6
<i>L. cichorioides</i>	0,64	3,6	19,4	0,21	9,4	15,7	2,88
<i>L. gurjanovae</i>	1,29	2,9	14,4	0,25	9,7	21,3	3,8
<i>Kjellmanella crassifolia</i>	0,98	10,4	26,6	0,11	12,3	27,7	3,32
<i>Agarum cribrosum</i>	0,56	16,8	23,1	0,04	4,3	23,5	2,1
<i>Alaria fistulosa</i>	1,40	10,4	24,9	0,07	8,5	24,4	0,70
<i>A. angustata</i>	1,40	11,7	25,4	0,14	6,4	30,5	2,10

Из данных таблицы 3 видно, что в составе бурых водорослей, к которым относится ламинария, по содержанию превалирует альгиновая кислота и ее соли (от 13 до 54 % сухого остатка), которые у зеленых и красных водорослей отсутствуют. Кроме альгиновой кислоты, в состав ламинарии входят и другие полисахариды: фукоидан и ламинаран.

Ламинараны являются внутриклеточными резервными полисахаридами бурых водорослей. Химически они представляют собой низкомолекулярные β -D-1,3-1,6-глюканы, их гетерогенность зависит от различий молекулярных масс и локализаций, а также от содержания β -1,6-связанных глюкозных остатков (рисунок 1).

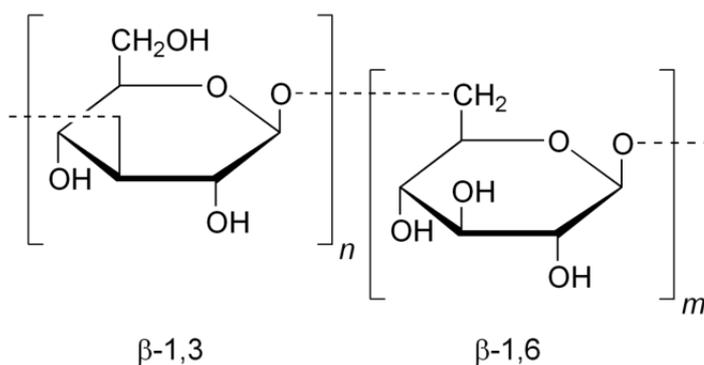


Рисунок 1 – Структурная формула ламинарана [190]

В многочисленных работах описаны биологические свойства ламинарана, в частности противовоспалительные, антиапоптотические, антиоксидантные и антикоагулянтные.

Кроме того, различные исследования также описывают потенциал ламинарана в качестве источника пищевых волокон и модулятора кишечного метаболизма [105; 190; 192; 198].

Альгиновая кислота и альгинаты являются основными полисахаридами бурых морских водорослей. Так, содержание альгиновой кислоты в ламинарии японской (*Laminaria japonica*) колеблется от 15 до 30 %. Молекулы альгиновой кислоты построены из остатков уроновых кислот β -D-маннуровой и α -L-гулуровой, находящихся в пиранозной форме и связанных 1,4-связями (рисунок 2).

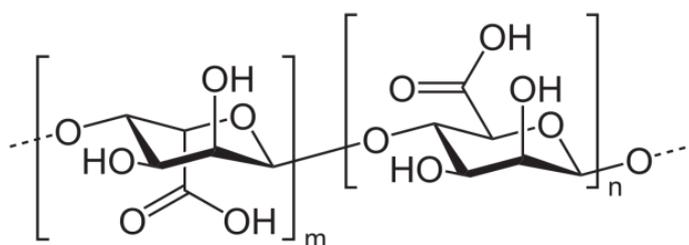


Рисунок 2 – Структурная формула альгиновой кислоты [44]

Альгинаты представляют собой соли (натриевые, калиевые, кальциевые, магниевые и др.) альгиновых кислот, являются энтеросорбентами радионуклидов, солей тяжелых металлов и жирных кислот. В пищевой промышленности чаще всего используются альгинат натрия (E401), альгинат калия (E402) и альгинат кальция (E404) в качестве загустителей, стабилизаторов и пеногасителей при производстве желе, мармелада, джема, мороженого и молочных продуктов [24; 25; 44; 105; 120; 191].

Фукоиданы являются матричными сульфатированными полисахаридами, обнаруженными в клеточных стенках бурых водорослей. Основная цепь молекулы фукоидана состоит из остатков сульфатированной α -L-фукозы, причем в настоящее время установлено, что существует два структурных типа: первый

тип содержит в основной цепи α -1 \rightarrow 3-, второй тип — чередующиеся α -1 \rightarrow 3- и α -1 \rightarrow 4-связанные остатки фукозы (рисунок 3).

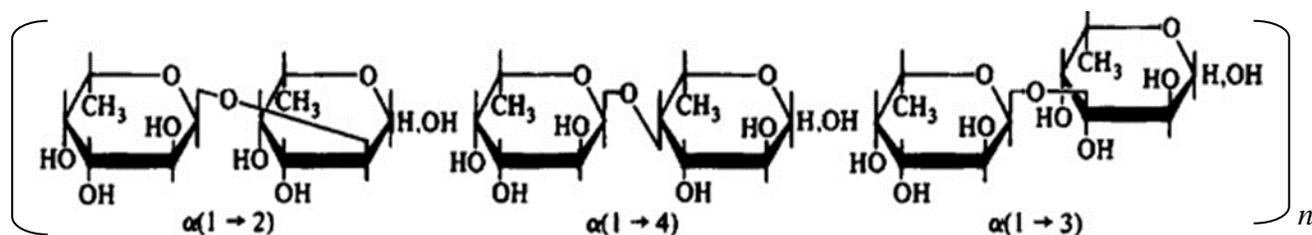


Рисунок 3 – Структурная формула фукоидана [160]

Установлено, что фукоиданы эффективно ингибируют процессы воспаления, опосредованные L- и P-селектинами, обладают антикоагулянтным и антиангиогенным действием, блокируют бактериальную адгезию на клетках млекопитающих. Такой уровень биологической активности не только делает фукоиданы чрезвычайно интересными объектами для дальнейших исследований, но и позволяет рассматривать их в качестве основы для создания новых эффективных лекарственных препаратов [129; 130; 146; 163; 178].

Родственные фукоидану биополимеры обнаружены в некоторых морских беспозвоночных (морских ежах *Arbacia lixula*, *Lytichinus variegates* и голотуриях *Ludwigothurea grisea*), принадлежащих к типу иглокожих [118]. Полисахариды животного происхождения содержат только фукозу и сульфатные группы и, соответственно, представляют собой сульфатированные α -L-фуканы, построенные из повторяющихся тетрасахаридных звеньев (рисунок 4). В отличие от фукоиданов, фукансульфаты иглокожих обладают четко выраженной регулярной линейной структурой и не содержат ацетатных групп и других моносахаридных остатков.

Содержание фукоиданов в бурых водорослях колеблется в довольно широких пределах (от 0,4 до 20,4 %) и зависит от вида водоросли и сезона сбора [2]. Фукоиданы, являясь полисахаридами, выполняют ряд важнейших биологических функций в водорослях: служат энергетическим резервом, участвуют в построении клеточных стенок, образуют наружные капсулы и межклеточный матрикс, препятствуют дегидратации, создают барьер для

проникновения в клетку солей из морской воды или, напротив, обеспечивают избирательное поглощение катионов, необходимых для построения минерального [33]. В состав фукоиданов обычно входят различные углеводные заместители: галактоза, манноза, ксилоза, уроновые кислоты, а также ацетильные группы. Фукоиданы с высокой степенью сульфатирования проявляют антикоагулянтную активность, по величине сравнимую с действием гепарина [105; 106].

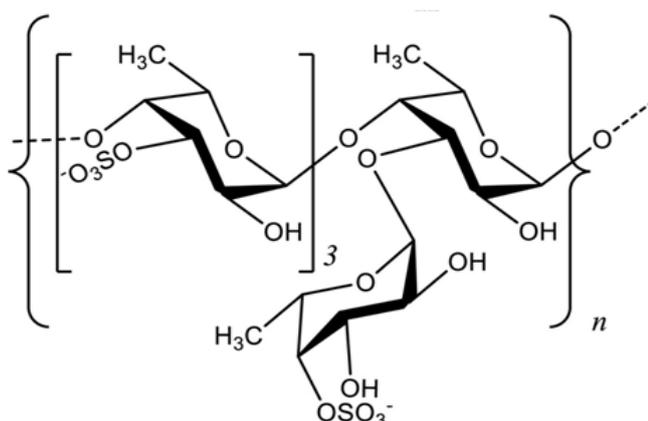


Рисунок 4 – Структурная формула фукансульфата голотурии *H. coluber* [118]

Анализ научно-технической литературы показал, что за счет своей биологической активности фукоиданы нашли широкое применение в производстве продуктов питания и напитков, косметических препаратов, биологически активных добавок (БАД), а также в фармацевтике.

1.3.2 Применяемые подходы и технологии при обогащении пищевых продуктов биологически активными веществами бурых водорослей

Включение БАВ в рецептуры пищевых продуктов позволяет получить продукты функциональной направленности и сформировать альтернативы для потребительского выбора. БАПИ бурых водорослей с этой точки зрения наиболее привлекательны, так как обладают известной полезностью и способны нивелировать недостатки исходного сырья, а значит, позволяют получить продукт, наиболее приемлемый для потребителя.

Так, учеными Дальневосточного федерального университета разработана смесь для приготовления мороженого, содержащая молочную основу, подсластитель, альгинат натрия в качестве стабилизатора, микроорганизмы и 30 %-й водный экстракт гребешка. Изобретение позволяет повысить пищевую и биологическую ценность готового продукта и получить продукт с нежной равномерной консистенцией [76].

Т.А. Кузнецовой и др. разработан безалкогольный напиток, содержащий БАД «Фуколам-С», альгинат натрия, закваску из производственных штаммов бифидобактерий и овощной и (или) фруктовый сок. Это обеспечивает повышение биологически активных, пребиотических свойств готового продукта и расширение ассортимента напитков функционального питания. Кроме того, напиток улучшает состояние желудочно-кишечного тракта и липидно-углеводный обмен и способствует повышению резистентности организма. Альгинат натрия обогащает напиток пищевыми волокнами [66].

Т.К. Каленик и др. разработана композиция для приготовления теста для хлеба пшеничного «Дары моря». Композиция содержит муку пшеничную, дрожжи хлебопекарные сушеные, сахар-песок, соль поваренную пищевую и БАД «Фуколам-С», которая способна проявлять пребиотические свойства. Данное изобретение позволяет улучшить органолептические показатели, такие как пористость, состояние поверхности хлеба, а также увеличить удельный объем, высоту и формоустойчивость хлебобулочных изделий, повысить содержание белковых веществ и растворимых пищевых волокон [62].

Известен способ производства кисломолочного напитка профилактического назначения, содержащий в качестве исходных компонентов молочную основу и закваску из производственных штаммов бифидобактерий *Bifidobactericum longum* В379М или *Bifidobactericum bifidum* 791. В качестве БАД напиток содержит биологически активный продукт «Фуколам-С» и (или) каррагинан из красной водоросли *Chondrus armatus*. Авторами проведены исследования по влиянию «Фуколама-С» и каррагинана на рост бифидобактерий. Их содержание в опытном образце с каррагинаном превышало таковое в контрольном образце в 10 раз, а в

опытном образце со смесью «Фуколама-С» и каррагинана – в 5 раз. Таким образом, использование в составе кисломолочного напитка данных БАД приводит к расширению спектра и усилению физиологического действия заявляемого кисломолочного напитка [60].

Ученые Дальневосточного федерального университета разработали состав для производства хлебобулочных изделий профилактического питания при йододефиците, содержащий спиртовой экстракт водоросли *Ulva lactuca*. Технический результат изобретения выражается в повышении пищевой и биологической ценности готового продукта при обеспечении высоких органолептических показателей [77].

В Тихоокеанском государственном экономическом университете разработан безалкогольный напиток, нормализующий липидно-углеводный обмен, снижающий уровень холестерина в крови и уменьшающий избыточный вес. Основными компонентами напитка являются плодово-ягодный концентрат, ксилитол, лимонная кислота, пищевой ароматизатор, соевой пептид, полидекстроза, пищевой краситель и БАД, включающая гарцинию камбоджийскую, фукоидан и L-карнитин [61].

V.D. Savant разработаны фруктово-овощные пастилки с добавлением фукоидана, как источника пищевых волокон. Пастилки могут употребляться в качестве легкой закуски (снека), дополнения к пище или легкого завтрака [71].

Ученые Ирландского национального университета в г. Корке N.C. Moroney и др. исследовали антиоксидантное влияние фукоидана и ламинарана в мясных фаршах. Теоретическое клеточное поглощение антиоксидантных соединений измеряли на модели трансвальных клеток Сасо-2. Ламинаран не проявлял активности, а фукоидан уменьшал окисление липидов. Из-за присутствия сульфатных групп и анионного заряда фукоидан является более мощным антиоксидантом, чем ламинаран. Результаты исследования демонстрируют способность экстрактов, содержащих фукоидан, усиливать АОА функциональных вареных мясных продуктов [173].

Т. Kawashima и др. исследовали синергетическое действие фукоидана и молочнокислых бактерий на иммунные функции. Фукоидан усиливал пробиотическое действие молочнокислых бактерий *Tetragenococcus halophilus*, стимулируя выработку цитокинов [157].

1.4 Технологическая пригодность фукоидана для обогащения хлебобулочных изделий, способы модификации для повышения эффективности

В многочисленных публикациях показано, что фукоидан обладает широким спектром биологической активности, в том числе противоопухолевыми, антиоксидантными, иммуномодулирующими свойствами. При этом установлено, что величина биологического эффекта определяется структурой основной цепи полисахарида, содержанием и расположением сульфатных и ацетатных групп, а также **молекулярной массой полисахарида** [137].

Антиоксидантные свойства. В литературных данных широко представлены данные об антиоксидантной активности фукоиданов разных видов водорослей. Известно, что эти полисахариды обладают более высокой вторичной АОА, основанной на методах абсорбции супероксидных радикалов и поглощении перекиси водорода, нежели синтетические антиоксиданты [165].

Кроме содержания сульфатов важным детерминантом АОА фукоидана является его молекулярная масса. В исследовании Ванга сравнивается антиоксидантная способность пяти фракций фукоидана с различными молекулярной массой и содержанием сульфатов, выделенных из *L. japonica*. Высокомолекулярные фракции фукоидана проявляли более низкое ингибирующее действие на окисление липопротеинов низкой плотности, нежели низкомолекулярные фракции [193].

Поглощающая активность супероксидного радикала фукоидана усиливается с увеличением содержания сульфаноионов [144; 154]. Данная тенденция наблюдалась в исследованиях J. Wang, J.L. Seng и др., которые установили, что фукоидан, выделенный из бурых водорослей *F. vesiculosus* и *Padina gymnospora*,

демонстрирует значительно более высокую АОА, чем фракции фукуана с более низкой степенью сульфатирования [162; 187; 196; 197]. В процессе перорального приема наблюдается положительная динамика выработки гемоксигеназы и супероксиддисмутазы, которые защищают внутриклеточное пространство от проникновения свободных радикалов, превращая их в обычные молекулы кислорода [184].

Е.А. Коленченко установлено, что фукоиданы в условиях *in vivo* снижают интенсивность перекисного окисления липидов и способствуют нормализации показателей эндогенной антиоксидантной системы на различных моделях окислительного стресса у экспериментальных животных. На модельных системах *in vitro*, позволяющих судить о механизмах антиоксидантного действия тестируемых веществ, показано, что фукоидан обладает восстанавливающей активностью и ингибирует Fe^{2+} -аскорбатиндуцированное окисление твина-80 до малонового диальдегида (модифицированный метод FRAP) [31].

Антиинфекционные свойства. Антибактериальный механизм фукоиданов обусловлен содержанием серной и глюкуроновой кислот в продуктах деполимеризации фукоидана, которые обладают полианионными свойствами [148]. Деполимеризованные фукоиданы связываются с бактериальными белками и вызывают разрушающий мембрану эффект, который индуцирует бактериальный апоптоз [148; 172; 176].

Доказана антибактериальная активность фукоидана из бурой водоросли *U. pinnatifida*. Результаты показывают, что максимальная зона ингибирования роста бактерий против *S. aureus* составляет $(15,67 \pm 0,76)$ мм. По сравнению с грамотрицательными штаммами грамположительные бактериальные штаммы более ингибируются фукоиданом [154].

Фукоиданы из *L. japonica* не проявляют антибактериальной активности до деполимеризации. Однако после деполимеризации низкомолекулярные формы фукоидана могут эффективно ингибировать пролиферации патогенов: *E. coli* и *S. aureus* [182].

Антибактериальную активность проявляют фукоиданы бурых водорослей *Turbinaria ornate* и *Sargassum polycystum* против бактериальных патогенов, таких

как *Vibrio harveyi*, *S. saprophyticus*, *E. coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterobacter spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica* и *Proteus spp.* [166].

Многочисленные исследования проводились относительно бактерий рода *H. pylori*. Ученые из Австралии обнаружили, что фукоиданы могут ингибировать рост этих бактерий, а также их способность прилипать к эпителиальным клеткам желудка *in vitro* при концентрации 1000 мг/мл [125; 127]. Клинические испытания фукоидана при хеликобактерной инфекции у людей показали, что число инфицированных лиц после применения фукоидана значительно снизилось [117].

Проявляя антибактериальные свойства в отношении патогенных микроорганизмов, фукоидан является питательной средой для молочнокислых организмов, в связи с чем он используется для производства кисломолочных продуктов [104].

Сульфатированные полисахариды также проявляют **антивирусную активность** в отношении многих вирусов (флави-, тога-, арена-, рабдо-, ортопоксвирусы, а также семейство герпесвирусов) [113; 139; 167; 181]. Инфицируя клетки человека, патогенные вирусы могут вызывать различные заболевания: от легких, таких как простуда или грипп, до хронических, таких как инфекция вируса папилломы человека [29].

Установлено, что противовирусная активность фукоиданов зависит от химической структуры, включая степень сульфатирования, **молекулярную массу**, составные сахара, конформацию и динамическую стереохимию [57; 149; 199].

Учеными Индии была исследована *in vitro* противовирусная активность фукоидана бурой водоросли *Sargassum swartzii* в отношении вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). Обнаружено, что фукоидан проявляет значительную активность против ВИЧ в концентрациях 1,56 и 6,25 мкг/мл, при этом наблюдается снижение уровня антигенов и активности ингибирования обратной транскриптазы [135].

Фукоидан из *Leathesia difformis* снижает проникновение в клетку вируса простого герпеса I и II типа и цитомегаловируса [139]. Фукоидан из *Sargassum*

horneri ингибирует прикрепление и пенетрацию вирусов простого герпеса I, цитомегаловируса и вируса иммунодефицита человека I типа [143]. Фукоидан из *Macrocystis pyrifera* подавляет действие вируса везикулярного стоматита [170]. Сульфатированные полисахариды из водоросли *Sargassum patents* подавляют адсорбцию и репликацию вируса простого герпеса II типа [202].

Противоопухолевые свойства. Сульфатированные полисахариды обладают выраженным противоопухолевым действием, проявляя антипролиферативные, антиметастатические, проапоптотические и антиангиогенные свойства. Противоопухолевые свойства сульфатированных полисахаридов обусловлены их способностью связываться с широким спектром белков, таких как факторы роста и молекулы клеточной адгезии, что может влиять на пролиферацию и дифференцировку, апоптоз и метастазирование опухолевых клеток. Кроме того, сульфатированные полисахариды могут стимулировать действие факторов врожденного и адаптивного иммунного ответа на опухолевые клетки [122; 130; 152; 156].

Было доказано антипролиферативное действие фукоидана бурой водоросли *U. pinnatifida* в отношении клеток MCF-7 аденокарциномы молочной железы, клеточной линии A-549 карциномы легкого и клеточной линии WiDr аденокарциномы толстой кишки [195].

Аналогичные результаты получила другая группа ученых, которая исследовала противоопухолевые эффекты фукоиданов, выделенных из водорослей *S. japonica* и *U. pinnatifida*, на раковые клетки T-47D молочной железы и клеточную линию SK-MEL-28 меланомы. Эти фукоиданы индуцировали апоптоз в соответствующих линиях раковых клеток, а также проявляли антиметастатическую активность, блокирующую взаимодействие между раковыми клетками и базальной мембраной [194].

Фукоидан из *S. okamuranus* ингибировал рост клеток рака желудка, при этом на здоровые клетки желудка полисахарид такого действия не оказывал [153; 156].

На противоопухолевую активность фукоидана влияет степень его сульфатирования; **низкомолекулярные фуканы**, выделенные из *Ascophyllum*

nodosum, проявили повышенную антипролиферативную активность на фибробластной клеточной линии CCL39 [131; 132].

Исследована противораковая активность *in vitro* сульфата фукана голотурии *Stichopus variegatus* на клетках T-47D и MDA-MB-231 рака молочной железы. Было показано, что этот полисахарид не проявляет цитотоксичности против исследуемых линий клеточных линий при концентрациях до 800 мкг/мл. Он ингибировал образование колоний клеток T-47D и MDA-MB-231 в дозе 400 мкг/мл и обладал небольшой активностью против миграции клеток MDA-MB-231 [192].

Фукоиданы могут препятствовать распространению метастазов и опухолевых клеток путем связывания с факторами роста и молекулами клеточной адгезии.

В работе О.С. Вишук описано исследование противоопухолевой и антиметастатической активности фукоиданов, выделенных из девяти видов бурых водорослей (*F. evanescens*, *L. japonica*, *U. pinnatifida*, *L. cichorioides*, *Sargassum swartzii*, *S. mcClurei*, *S. denticarpum*, *Sargassum sp.*, *S. polycystum*). Все исследованные фукоиданы были нетоксичны по отношению к клеткам рака кишечника человека DLD-1 и HT-29 в концентрации до 200 мкг/мл. При обработке клеток фукоиданы (50 мкг/мл) в различной степени тормозили рост колоний клеток DLD-1 и HT-29. Фукоиданы из *L. cichorioides* и *L. japonica* проявили наиболее выраженное противоопухолевое действие в ряду изученных фукоиданов. Фукоиданы из *S. swartzii*, *S. denticarpum* и *S. mcClurei* практически не обладали противоопухолевой активностью [7].

Иммуномодулирующие свойства. Иммуномодулирующие свойства фукоидана бурой водоросли *Ascophyllum nodosum* были исследованы *in vitro* на клеточных модельных системах (моноцитарной линии клеток THP-1 и культурах цельной крови человека HWBC) здоровых людей путем сравнения секретируемых противовоспалительных цитокинов и хемокинов. В данном исследовании фукоидан хорошо продемонстрировал противовоспалительные свойства [140].

Учеными Ирана и Кореи было изучено влияние иммуностимулирующего эффекта нативного и частично гидролизованного фукоиданов бурой водоросли *S. angustifolium* с использованием способности клеток макрофагов RAW 264.7

выделять оксид азота (NO). Макрофаги являются важными иммуномодулирующими клетками, которые играют ключевую роль в иммунной системе, поддерживая гомеостаз и обеспечивая защиту от патогенов и раковых клеток посредством секреции NO и разных цитокинов. NO-освобождающая способность нативных и гидролизованных фукоиданов четко показала, что фукоиданы с более низким молекулярным весом более эффективны в стимулировании клеток макрофагов [123].

Известно также о способности фукоиданов, выделенных из *F. vesiculosus* и *Agarum cribrosum*, стимулировать клетки макрофагов высвобождать NO [125; 126].

Фукоиданы из бурых водорослей *L. japonica*, *L. cichorioides* и *F. evanescens*, обладающие выраженной иммуностимулирующей активностью, способны индуцировать генетически детерминированные биохимические процессы, которые инициируют активацию генов, ответственных за синтез цитокинов, а также способствовать формированию защиты против патогенов различных таксономических групп [2].

Исследование иммуностимулирующего действия экстрактов, выделенных из бурой водоросли *Kjelmaniella crassifolia*, имеющих разную степень вязкости, показало, что более высокие уровни цитокинов (IFN γ , IL-12 и IL-6), продуцируемых лимфоцитами селезенки лабораторных мышей C57 B16 и Пейеровых бляшек, наблюдаются при более высокой вязкости экстракта [155].

Биологические свойства фукоиданов связаны с их типами, определяемыми структурой основной цепи, содержанием и расположением сульфатных и ацетатных групп, а также молекулярной массой [150; 154]. Так, имеются публикации, доказывающие, что фукоидан с **низкой молекулярной массой** обладает более высокой антикоагулянтной и антиоксидантной активностью [158; 161; 162; 164].

Исходя из вышеизложенного можно определить основные факторы, которые обуславливают биологическую активность фукоиданов – это прежде всего их **молекулярная масса**. Фукоидан имеет разный молекулярный вес в зависимости от способа извлечения; как правило, известны 100~1.000 кДа. Низкомолекулярный

фукоидан (4 кДа) лучше гепарина предотвращал артериальный тромбоз. Полученные с помощью перекиси водорода из высокомолекулярных низкомолекулярные фукоиданы (от 7,8 до 8,3 кДа) проявляют антикоагулянтную активность [87].

Для снижения молекулярной массы сульфатированных полисахаридов чаще всего применяют кислотный автогидролиз с участием собственных сульфатных групп (находящихся в H^+ -форме) в качестве источника кислоты. При этом структура образующихся олигомеров может зависеть от положения сульфатных групп в исходном полисахариде [128].

Также широко распространен метод частичного кислотного гидролиза сульфатированных полисахаридов. Р. Даниель с коллегами использовали 0,75 мМ H_2SO_4 при 60 °С для гидролиза фукоидана с последующим выделением олигосахаридов [131; 132].

Одним из перспективных способов снижения молекулярной массы является биодеструкция фукоиданов бурых водорослей методом ферментативного гидролиза. Эффективность метода зависит от ряда факторов, важными из которых являются дозировка ферментного препарата, температура и рН реакционной среды, при которых протекает гидролиз, а также время гидролиза [41].

С целью повышения биодоступности и предотвращения десульфатирования сульфатированных полисахаридов при их пероральном применении предложено смешивание их с блок-сополимером полиэтиленоксида и полипропиленоксида. Для усиления эффекта раствор блок-сополимера или сульфатированный полисахарид перед смешиванием подвергают ионизирующему облучению. Способ предотвращает десульфатирование сульфатированных полисахаридов в желудочно-кишечном тракте и обеспечивает их пероральную биодоступность [64].

Y.C. Huang и R.Y. Li разработали наночастицы комплекса хитозан/фукоидан с антиоксидантными свойствами для доставки антибиотиков. Эти наночастицы имели сферическую морфологию и диаметр от 200 до 250 нм [150].

В целях защиты молекул сульфатированных полисахаридов от десульфатирования K.S. Мауа предложено создание многослойных структур –

микрочастиц (нанокапсул) диаметром от десятков нанометров до десятков микрон, обеспечивающих адгезию сульфатированных полисахаридов на гликокаликсе энтероцитов. Однако процесс создания микрочастиц является трудозатратным, включает в себя много стадий, предполагает разделение промежуточных продуктов, а соответственно, значительно удорожает конечный продукт [171].

Одним из возможных подходов для сохранения биологической активности фукоиданов может быть применение альгинатов в качестве оболочки нанокапсул [179; 188]. Известны способы получения нанокапсул спирулина, розмарина, семян чиа, экстракта хлореллы, сухого экстракта стевии, сухого экстракта рейши и др. [70; 73; 75; 79; 83; 84; 124]. Альгинатные гидрогели широко используются для инкапсуляции клеток [182], а альгинат кальция предпочтителен для инкапсулирования пробиотиков из-за его простоты, нетоксичности, биосовместимости и низкой стоимости [159].

Заключение по главе 1

На основании вышеизложенного материала можно сделать заключение о важности профилактических мероприятий в отношении НИЗ, вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом, а также оксидативного стресса как триггера НИЗ. В качестве одного из таких инструментов могут выступать продукты питания, обогащенные биологически активными пищевыми ингредиентами.

Наиболее приемлемыми для целей обогащения являются, на наш взгляд, биологически активные пищевые ингредиенты, экстрагированные из бурых водорослей, в частности водорастворимые полисахариды: фукоидан и соли альгиновых кислот, а также йод в органической форме. БАПИ бурых водорослей с этой точки зрения наиболее привлекательны, так как обладают известной полезностью и способны нивелировать недостатки исходного сырья, а значит, позволяют получить продукт, наиболее приемлемый для потребителя.

Анализируя изложенные выше материалы, характеризующие подходы и технологии обогащения продуктов питания биологически активными пищевыми ингредиентами бурых водорослей, можно сделать следующее обобщение:

– основные подходы направлены на модификацию компонентного состава за счет изменения количественного и качественного соотношения нутриентов продуктов;

– технологические приемы ориентированы в большей части на установление этапа внесения, количества обогащающего компонента и последующее смешивание;

– большая часть материалов зарубежных ученых направлена на исследование полезности фукоидана, эффективности его извлечения из бурых водорослей, а также применение в медицине;

– среди проанализированного материала не установлено исследований о совместимости обогащающих ингредиентов с пищевой матрицей продукта, кроме того, не описано влияние физических процессов технологий производства на состояние обогатителя;

– являясь полисахаридом, фукоидан имеет очень большой молекулярный вес, что делает его разложение и усвоение в пищеварительной системе человека сложной задачей, в связи с чем возникает необходимость разрушить макромолекулы фукоидана для обеспечения его биодоступности;

– альгинат натрия может выступать в качестве носителя для доставки биологически активного фукоидана до нижних отделов желудочно-кишечного тракта.

В Южно-Уральском государственном университете действует одна из ведущих научных школ страны в области сонохимии пищевых систем. Дальнейшие исследования будут направлены на возможность модификации БАПИ путем воздействия ультразвука для повышения эффективности в составе пищевых систем изделий хлебобулочных. При обогащении также необходимо отслеживать влияние вновь вводимых добавок на биохимические и технологические процессы в хлебопечении.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Схема проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования в рамках решения задач, определенных в диссертационной работе, проводились в период с 2015 по 2019 г. в технологических и экспертных лабораториях кафедры пищевых и биотехнологий, Международной научно-исследовательской лаборатории «Синтез и анализ пищевых ингредиентов», НОЦ «Нанотехнологии», НОЦ «Медико-психологическая клиника», а также в МЦ «Дом здоровья» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)».

В соответствии с разработанной схемой (рисунок 5) исследования проводились поэтапно.

На **первом этапе** для формирования цели работы и задач проведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы по теме диссертационной работы.

На **втором этапе** с использованием маркетинговых методов исследования:

– изучена конъюнктура предложения изделий хлебобулочных, обогащенных ПИ, реализуемых на потребительском рынке Челябинской области;

– проведен анализ потребительских предпочтений населения Челябинска и Магнитогорска при выборе изделий хлебобулочных.

На **третьем этапе** исследованы свойства БАВ бурых водорослей, реализуемых на потребительском рынке в качестве ПИ. Определены подходы для их модификации низкочастотным ультразвуковым воздействием (НУЗВ) с целью регулирования структурных характеристик и биоактивности. Получены опытные образцы микроструктурированных БАВ бурых водорослей (ПИ_{микро}).

Изучено влияние ПИ_{микро} на активность хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* как биостимуляторов их активности, на свойства клейковинного комплекса муки пшеничной, а также на процессы тестоведения в технологии изделий хлебобулочных.



Рисунок 5 – Схема проведения экспериментальных исследований

На **четвертом этапе** исследований были получены опытные образцы изделий хлебобулочных, обогащенных ПИ_{микр}, на основании разработанных рецептур и технологических приемов, а также проведена комплексная товароведная оценка качества. Изучено влияние ПИ_{микр} на сохранение качества хлеба, основными показателями оценки были определены полезность по остаточному количеству фукоидана в хлебе после выпечки. Осуществлена опытная промышленная апробация разработанных хлебобулочных изделий. Исследовано стресс-протекторное действие хлеба «Антистресс» в клинических исследованиях *in vivo*.

2.2 Объекты и методы исследования

Для каждого этапа работ согласно схеме и в соответствии с поставленной целью и задачами были определены объекты исследования.

Для изучения свойств БАВ бурых водорослей и влияния НУЗВ на их модификацию в качестве объектов исследования определены ПИ, произведенные в КНР, Южной Корее и России:

– ПИ 1 – опытный образец фукоидана, выделенный из бурых водорослей *Kjellmaniella crassifolia*, не менее 90 % чистоты, полученный в лаборатории Даляньского технологического университета (КНР);

– ПИ 2 – БАД «FUCOID POWER-U», содержание фукоидана морских бурых водорослей *Undaria pinnatifida* и *Laminaria japonica* в количестве не менее 66 %, производитель – компания Naewon Biotech, Inc. (Южная Корея);

– ПИ 3 – БАД к пище «Фуколам-С-сырье» (ТУ 9284-067-02698170-2010), разработанная учеными лаборатории химии ферментов Тихоокеанского института биоорганической химии (ТИБОХ) ДВО РАН по оригинальной технологии, защищенной патентом РФ № 2315487 [58]. Сырьем для получения БАД являются бурые водоросли – фукус исчезающий (*Fucus evanescens*), содержащий не менее 60 % фукоидана, а также альгинат натрия как адсорбент и дополнительный источник йода (страна производства – Россия);

– ПИ_{микр}1 – модифицированный на основе ультразвукового микроструктурирования ПИ 1 (КНР);

– ПИ_{микр}2 – модифицированный на основе ультразвукового микроструктурирования ПИ 2 (Южная Корея);

– ПИ_{микр}3 – модифицированный на основе ультразвукового микроструктурирования ПИ 3 (Россия).

Процесс микроструктурирования БАВ бурых водорослей осуществляли на ультразвуковом аппарате «ВОЛНА», модель УЗТА-0,63/22-ОМ (ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», г. Бийск, 2017), который предназначен для интенсификации физико-химических процессов в системах с жидкой дисперсионной средой [103].

Условия эксплуатации ультразвукового аппарата: температура окружающего воздуха – от 10 до 30 °С, относительная влажность – не более 80 %, избыточное давление обрабатываемой среды – не более 0,5 атм., максимальная температура обрабатываемой среды – не более 70 °С. Основные технические характеристики ультразвукового аппарата «ВОЛНА» представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные технические характеристики УЗТА-0,63/22-ОМ

Технические характеристики	Значение
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220 ± 20
Частота механических колебаний, кГц	22 ± 1,65
Максимальная потребляемая мощность, Вт	630
Диапазон регулирования мощности, %	30–100
Время непрерывной работы, ч	8
Габаритные размеры электронного генератора, мм	300×280×110
Габаритные размеры колебательной системы с объемом, мм	∅ 80×150
Диаметр рабочего инструмента, мм	30
Принцип преобразования электрических колебаний в механические	Пьезоэффект
Интенсивность излучения, Вт/см ²	Не менее 10

При исследовании влияния ПИ_{микр} на биохимические и технологические процессы в хлебопечении в качестве **объектов исследования** выступали:

– дрожжи хлебопекарные рода *Saccharomyces cerevisiae* (ООО «Саф-Нева», Санкт-Петербург, Россия; ГОСТ Р 54731-2011).

– мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (ООО «Объединение Союзпищепром», Челябинская область, пос. Рощино, Россия);

– суспензии дрожжевые;

– модельные образцы теста.

На этапе разработки рецептуры и технологии изделий хлебобулочных, обогащенных ПИ_{микр}, были получены **опытные образцы**:

– образцы хлеба из пшеничной муки с внесением модифицированных форм ПИ_{микр} в разной концентрации.

В качестве **контроля** выступал хлеб из пшеничной муки, произведенный по традиционной рецептуре и технологии.

На этапе исследования эффективности действия хлеба «Антистресс» проведены клинические исследования *in vivo*. Исследование одобрено Комитетом по этике Южно-Уральского государственного университета (НИУ). Программа фокусировалась на добровольном включении в исследование здоровых людей (отсутствие хронических заболеваний и показателей медицинского обследования, позволяющих исключить участника из исследования, и др.) в возрасте от 18 до 40 лет в рандомизированное слепое плацебо-контролируемое исследование в период с марта по апрель 2017 г. Испытуемый давал письменное информированное согласие в соответствии с российским законодательством и заполнял индивидуальную регистрационную карту (приложение Б). Выборку составила группа, состоящая из 31 человек (на конец исследования), из них:

– 15 человек получали хлеб без добавления ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (**контрольная группа**);

– 16 человек получали хлеб «Антистресс» с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (**экспериментальная группа**).

Экспериментальные исследования проводились с использованием общепринятых, стандартных и оригинальных методов [100; 101]. Оценку качества выбранных объектов производили по номенклатуре, которая включала следующие показатели (таблица 5).

Таблица 5 – Номенклатура показателей качества для оценки объектов исследования

Номенклатура основных показателей	Наименование показателей
ПИ, содержащие БАВ бурых водорослей	
Органолептические показатели	Внешний вид и консистенция. Вкус и запах. Цвет
Физико-химические показатели	Антиоксидантная активность (АОА) суммарная, мг АК/мл. Массовая доля йода в пересчете на сухое вещество, %
Структурно-механические показатели	Дисперсный состав (размер частиц, мкм, нм; количество частиц, %). Морфологические характеристики (оптическая микроскопия и СЭМ). Вязкость, Па·с. Активная кислотность, ед. рН
Показатели безопасности	Степень токсичности на тест-культурах <i>Paramecium caudatum</i> , усл. ед.
Дрожжи хлебопекарные рода <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
Органолептические показатели	Внешний вид. Цвет. Вкус и запах
Физико-химические показатели	Массовая доля сухого вещества, %. Подъемная сила дрожжей, мин. Кислотность дрожжей на 30-е сутки хранения, мг на 100 г дрожжей
Суспензии дрожжевые	
Физико-химические показатели	Подъемная сила, мин. Бродильная активность, %. Прирост биомассы, г/ч
Структурно-механические показатели	Морфологическая структура (оптическая микроскопия)
Мука пшеничная хлебопекарная	
Органолептические показатели	Вкус и запах. Наличие минеральных примесей. Цвет
Физико-химические показатели	Влажность, %. Зольность в пересчете на сухое вещество, %. Количество клейковины, %. Качество клейковины, ед. ИДК. Растяжимость и эластичность клейковины. Формы связи влаги в клейковине (термогравиметрический анализ)
Модельные образцы теста	
Физико-химические показатели	Антиоксидантная активность суммарная, мг АК/мл. Титруемая кислотность, град
Структурно-механические показатели	Технологическая эффективность брожения (ТЭБ). Реологические характеристики (пластическая, упругая и общая деформация, мм)

Продолжение таблицы 5

Номенклатура основных показателей	Наименование показателей
Образцы хлеба из пшеничной муки	
Органолептические показатели	Внешний вид. Состояние мякиша. Вкус. Запах
Физико-химические показатели	Влажность мякиша, %. Кислотность мякиша, %. Пористость мякиша, %. Крошковатость, %. Коэффициент набухаемости. Микроструктура мякиша (СЭМ). Антиоксидантная активность (АОА) суммарная, мг АК/мл. Массовая доля йода, мкг на 100 г хлеба. Содержание фукоидана, мг/г
Структурно-механические показатели	Микроструктура мякиша (СЭМ). Реологические характеристики (пластическая, упругая и общая деформация, мм)
Показатели безопасности	Степень токсичности на тест-культурах <i>Paramecium caudatum</i> , усл. ед.
Клинические исследования хлеба «Антистресс» <i>in vivo</i>	
Субъективные и объективные психологические показатели испытуемых	Самочувствие, активность, настроение. Интегративный тест тревожности. Уровень социальной фрустрированности. Тест на определение стрессоустойчивости личности. Тест самооценки стрессоустойчивости. Оценочная шкала стрессовых событий Холмса – Page
Показатели функциональности гипофизарно-надпочечниковой системы	Содержание кортизола в сыворотке крови, %

Методы исследования свойств ПИ и ПИ_{микр}

Органолептические показатели согласно требованиями Спецификации FDA и ТУ 9284-067-02698170-2010 «Фуколам-С-сырьё» (приложение В).

Определение массовой доли йода в ПИ проводили согласно ГОСТ 26185-84 «Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа» колориметрическим методом [10].

Активную кислотность определяли потенциометрически с помощью рН-метра HI98100 Checker Plus.

Исследование вязкости растворов ПИ и ПИ_{микр} проводилось посредством определения предельного напряжения сдвига на вискозиметре ротационном Brookfield DV-III Ultra. Диапазон вязкости определяли от 1 мПа·с до $6 \cdot 10^6$ мПа·с, диапазон скоростей – от 0,01 до 250 об/мин.

Методы определения жизнедеятельности дрожжей

Отбор проб дрожжей осуществлялся согласно требованиям ГОСТ Р 54731-2011 [19].

Органолептические показатели, массовую долю сухого вещества, подъемную силу и кислотность хлебопекарных прессованных дрожжей определяли по ГОСТ Р 54731-2011 «Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия» [19].

Методы определения технологических свойств муки

Органолептические показатели определяли по ГОСТ 27558-87 «Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста» [13].

Влажность – по ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определения влажности» [18]. Зольность – по ГОСТ 27494-2016 «Мука и отруби. Методы определения зольности» [12].

Количество клейковины – по ГОСТ 27839-2013. Качество клейковины пшеничной муки определяли по цвету, растяжимости и эластичности, а также на измерителе деформации клейковины ИДК-3 с погрешностью не более плюс-минус 2,5 ед. [15].

Пробную лабораторную выпечку хлеба осуществляли по ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба» [14].

Методы определения скорости технологического цикла тестоведения

Технологическую эффективность брожения теста определяли по количеству выделившегося углекислого газа с учетом подъема теста [30].

Кислотность теста определяли методом титрования 0,1 н. раствором NaOH в присутствии 1 %-го спиртового раствора фенолфталеина.

Методы определения качества изделий хлебобулочных

Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 5667-65 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий» [17].

Для органолептической оценки изделий хлебобулочных использовалась пятибалльная шкала (таблицы 6 и 7) с учетом коэффициентов весомости [3].

Таблица 6 – Балловая шкала органолептической оценки качества изделий хлебобулочных

Показатель	Коэффициент весомости K_w	Оценка уровня качества, балл	Характеристика
Внешний вид	0,3	5	Правильная форма; гладкая ровная несколько выпуклая поверхность корки, окраска корки равномерная золотисто-коричневого цвета; поверхность без крупных трещин и подрывов
		4	Правильная форма; гладкая ровная средневыпуклая поверхность корки, окраска корки равномерная светло-коричневого цвета; поверхность без крупных трещин и подрывов
		3	Форма слегка расплывчатая; гладкая неровная слабовыпуклая поверхность корки, окраска корки неравномерная темно-коричневого и/или желтого цвета; поверхность с трещинами или подрывами
		2	Форма расплывчатая; неровная плоская поверхность корки, окраска корки неравномерная темно-коричневого или желтого цвета; поверхность с трещинами и подрывами
		1	Форма расплывчатая; неровная вогнутая поверхность корки, окраска корки неравномерная подгоревшая темно-коричневого и/или недопеченная светло-желтого цвета; поверхность с трещинами и крупными подрывами
Состояние мякиша	0,2	5	Равномерно белый, хорошей эластичности, с мелкой равномерной тонкостенной пористостью, не липкий, без комочков и следов непромеса
		4	Равномерно белый, средней эластичности, с мелкой равномерной тонкостенной пористостью, не липкий, без комочков и следов непромеса
		3	Белый или с сероватым оттенком, средней эластичности, с крупной неравномерной толстостенной пористостью, не липкий, без комочков и следов непромеса

Продолжение таблицы 6

Показатель	Коэффициент весомости Кв	Оценка уровня качества, балл	Характеристика
		2	Неравномерный темный или желтый, плохой эластичности, с крупной неравномерной толстостенной пористостью, не липкий, без комочков и следов непромеса
		1	Неравномерный темный или желтый, плохой эластичности, с крупной неравномерной толстостенной пористостью, липкий, с комочками и/или следами непромеса
Вкус	0,4	5	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, без посторонних привкусов
		4	Свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних привкусов
		3	Свойственный хлебобулочным изделиям, пресноватый, без посторонних привкусов
		2	Не свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних привкусов
		1	Не свойственный хлебобулочным изделиям, с посторонними привкусами
Запах	0,1	5	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, выраженный, без посторонних запахов
		4	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, без посторонних запахов
		3	Свойственный хлебобулочным изделиям, невыраженный, без посторонних запахов
		2	Не свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних запахов
		1	Не свойственный хлебобулочным изделиям, неприятный, с посторонними запахами

Таблица 7 – Категория качества хлеба при органолептической оценке по пятибалльной шкале

Категория качества	Суммарный показатель, балл
Отличное	4,7–5,0
Хорошее	3,8–4,6
Удовлетворительное	3,3–3,7
Неудовлетворительное	Ниже 3,3

Влажность мякиша хлеба определяли высушиванием навески изделий при температуре 130 °С в течение 40 мин.

Титруемую кислотность определяли методом титрования 0,1 н. раствором NaOH в присутствии 1 %-го спиртового раствора фенолфталеина.

Пористость определяли по средней массе пяти выемок с помощью прибора Журавлева.

Крошковатость определяли по количеству крошки, образованной за 15 мин при встряхивании навески мякиша при скорости от 190 до 250 об/мин.

Набухаемость мякиша (мл на 1 г сухого вещества) определяли по количеству воды, поглощаемой мякишем хлебобулочных изделий за 5 мин [38].

Определение массовой доли йода в хлебе проводили согласно ГОСТ 25832-89 «Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия» титриметрическим методом [9].

Специальные методы исследований

Физиологическую активность дрожжевых клеток определяли по содержанию в них резервного полисахарида гликогена, а также волютина методом микроскопии (объектив x40).

Определение включения гликогена осуществляли следующим способом. На предметное стекло наносили спирт-глицериновую смесь 1:1, вносили в нее каплю дрожжевой суспензии и окрашивали раствором Люголя.

Для окраски включений зерен волютина мазки фиксировали и окрашивали по способу Нейссера, для чего на препарат наносили на 1 мин уксуснокислую синьку Нейссера, промывали и 30 секунд обрабатывали раствором Люголя; не промывая, окрашивали везувином в течение 10–15 с, промывали и высушивали.

Для оценки **бродильной активности** дрожжевых суспензий использовалась модификация метода определения интенсивности выделения диоксида водорода манометрическим способом на аппарате Варбурга для газообмена.

В основе модификации аппарата Варбурга лежит тот же метод технологической оценки активности дрожжей по интенсивности выделения CO₂, в котором учитывалось не время, затраченное на образование 10 мл диоксида углерода, а количество углекислоты, выделенное изучаемыми дрожжами за 1 ч.

Для оценки жизненной силы дрожжей использовали модификацию весового метода определения *прироста биомассы* дрожжей в аэробных условиях по истечении 1 ч в условиях термостатирования при 30 °С с последующим центрифугированием дрожжевой суспензии.

Морфологическая структура образцов ПИ и ПИ_{микр} была получена с применением сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) высокого разрешения (Jeol JEM-2100), увеличение от ×500 до ×10 000.

Дисперсный состав растворов ПИ и ПИ_{микр} исследовали на лазерном анализаторе размера частиц методом динамического рассеяния света Nanotrac Ultra (Microtrac Inc., США). Размерный диапазон обнаруживаемых прибором частиц составляет от 0,8 нм до 6,5 мкм, результаты измерений имеют высокую точность. Крупные частицы обнаруживали с помощью анализатора размера частиц серии Microtrac S3500 (Microtrac Inc., США) с трилазерной технологией. Возможность измерения составляет от 0,024 до 2 800 мкм. Анализ рассеянного света для определения размера частиц использует единую теорию углового рассеяния от анализа крупных частиц до анализа малых частиц.

Определение суммарной антиоксидантной активности (АОА) осуществляли методом кулонометрического электрохимического титрования. В основе кулонометрических методов лежит закон Фарадея, устанавливающий связь между массой электропревращенного вещества и количеством затраченного электричества. В своей работе мы использовали универсальный прецизионный кулонометр «Эксперт-006-антиоксиданты», разработанный и серийно выпускаемый НПК ООО «Эконикс-Эксперт» (Москва), № 23192-02 в Госреестре средств измерений РФ.

Определение АОА осуществляли по следующей методике. В ячейку объемом 50 см³ вводили 25,0 мл фонового раствора, опускали электроды и включали генераторную цепь. По достижении определенного значения индикаторного тока в ячейку вносили аликвоту жидкого исследуемого образца (0,1–1,0 мл). Для титрования брали аликвоты с таким расчетом, чтобы время

титрования не превышало 5 мин. Конечную точку титрования фиксировали по достижению первоначального значения индикаторного потенциала.

Массу вещества рассчитывали по формуле (1):

$$m = Q \cdot M / (n \cdot F), \quad (1)$$

где Q – количество электричества, Кл; M – молярная масса вещества, г/моль; n – число электронов, участвующих в реакции; F – постоянная Фарадея (96485,3415 Кл/моль).

Оценку безопасности и токсичности проводили по ГОСТ 31674-2012 [16] с помощью автоматизированного аппаратно-программного комплекса «БиоЛат» на тест-организмах – инфузориях вида Парамеция (*Paramecium caudatum*) путем подсчета количества выживших простейших в лунках с помощью программы AutoCiliata сразу после подсаживания их в исследуемые растворы и через 2 ч после начала исследования. Степень токсичности исследуемого продукта определялась по таблице 8. Расчет коэффициента K_1 производится также автоматически по формуле (2):

$$K_1 = N_1 / N_2, \quad (2)$$

где N_1 – количество живых инфузорий после экспозиции в пробе; N_2 – количество живых инфузорий до начала этапа опыта.

Таблица 8 – Степень токсичности исследуемого продукта

Степень токсичности исследуемого продукта	Выживаемость инфузорий, %
Нетоксичный	90–100
Слаботоксичный	50–89
Токсичный	0–49

Для определения *реологических свойств* образцов теста и хлеба использовали текстурометр «Структурометр СТ-2» (ООО «Лаборатория качества», 2017 г.). Прибор представляет собой автоматическое электромеханическое устройство с микропроцессорным управлением, осуществляющее измерение механической нагрузки, создаваемой с помощью индентора, закрепленного в тензодатчике при его внедрении в пробу исследуемого продукта, и математический анализ полученных результатов с целью определения реологических характеристик анализируемой пробы (общей, упругой и пластической деформации) и установления статистических характеристик.

Измерение реологических характеристик теста проводили по методике 4П к прибору, которая основана на определении общей, упругой и пластической деформации теста при сжатии его индентором «Полусфера» со скоростью движения 0,5 мм/с после касания теста с усилием 7 г до конечного усилия нагружения 500 г, после чего начинается реверсивное движение индентора с той же скоростью движения до усилия в 7 г. Для исследования брали кусочек теста массой $(5 \pm 0,2)$ г. Режим работы прибора представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Режим работы Структурометра СТ-2 при определении реологических характеристик теста

1. Перемещение индентора со скоростью движения V_{δ} вниз до контакта с пробой теста с усилием F_k	V_{δ} , мм/с	0,5
	F_k , г	7
2. Деформирование с помощью индентора пробы теста со скоростью движения V_{δ} до усилия F_{\max}	V_{δ} , мм/с	0,5
	F_{\max} , Г	500
3. Реверсивное движение индентора со скоростью движения V_{δ} до конечного усилия F_{\min}	V_{δ} , мм/с	0,5
	F_{\min} , Г	7
4. Возврат индентора в базовую точку со скоростью движения V_{δ}	V_{δ} , мм/с	1

Измерение реологических характеристик теста проводили по методике 5Ц к прибору, которая основана на определении общей, упругой и пластической деформации мякиша хлеба при сжатии его индентором «Цилиндр 36» со

скоростью движения 0,5 мм/с после касания с усилием 7 г до конечного усилия нагружения 500 г, после чего начинается реверсивное движение индентора с той же скоростью движения до усилия в 7 г. Для исследования брали кусочек мякиша хлеба высотой 25 мм. Режим работы прибора представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Режим работы Структурометра СТ-2 при определении реологических характеристик мякиша изделий хлебобулочных

1. Перемещение индентора со скоростью движения V_{δ} вниз до контакта с пробой теста с усилием F_k	V_{δ} , мм/с	0,5
	F_k , Г	7
2. Деформирование с помощью индентора пробы теста со скоростью движения V_{δ} до усилия F_{max}	V_{δ} , мм/с	0,5
	F_{max} , Г	500
3. Реверсивное движение индентора со скоростью движения V_{δ} до конечного усилия F_{min}	V_{δ} , мм/с	0,5
	F_{min} , Г	7
4. Возврат индентора в базовую точку со скоростью движения V_{δ}	V_{δ} , мм/с	3

Для исследования *форм связи влаги* в образцах клейковины проводили исследования методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии на приборе синхронного термического анализа STA 449 F1 Jupiter (NETZSCH, Германия). Процедура выполняется посредством непрерывного измерения показателей теплообмена (масса материала, температура), связанного с термическим денатурированием молекул при нагревании их с постоянной скоростью.

Применяемая для количественной обработки данных термоаналитическая кривая ДСК описывает изменения энтальпии, характеризующей тепловые эффекты химического воздействия и физических превращений. Скорость изменения температуры нагрева составляла 10 °С/мин, максимальная температура нагрева – 493 К. С помощью аналогового цифрового преобразователя получали кривые в цифровой форме.

Для получения данных о механизме влагоудаления на основе определения температурного интервала и количества влаги, десорбируемой примерно с

одинаковой скоростью, перестраивали кривую в координатах $[-\lg a; 10^3/T]$ с помощью пакета для анализа и обработки данных OriginPro 8.0 SR5.

На каждой полученной кривой были выделены по шесть линейных участков с различным углом наклона к оси абсцисс, которым соответствует удаление различных форм связи влаги:

- 1-й участок – свободная влага;
- 2-й участок – физико-механически связанная влага;
- 3-й участок – осмотически связанная влага;
- 4-й участок – адсорбционная влага полимолекулярных слоев;
- 5-й участок – адсорбционная влага мономолекулярных слоев;
- 6-й участок – химически связанная влага.

Установление таких участков для исследуемых образцов позволило определить соотношение влаги различных форм связи в клейковине.

Массовую долю фукоидана в изделиях хлебобулочных после выпечки определяли спектрофотометрическим методом, разработанным Z.A. Dische [136], в модификации А.И. Усова [106], по реакции взаимодействия фукоидана с раствором хлоргидрата L-цистеина.

Для этого готовили вытяжку из хлеба: 0,2 г образца перемешивали на магнитной мешалке в течение 1 ч при температуре 70 °С с 25 мл 0,1 М HCl. Экстракт отделяли центрифугированием (6000 об/мин, 20 мин). Осадок экстрагировали 0,1 М HCl еще раз. Надосадочные жидкости объединяли и диализовали в течение 24 ч против бидистиллированной воды. Диализат в количестве 2,5 мл переносили в колбу объемом 50 мл, доводили до метки бидистиллированной водой. Отбирали аликвоту объемом 0,5 мл, приливали 4 мл раствора серной кислоты (5:2), перемешивали и добавляли 1 мл концентрированной серной кислоты. Полученную смесь перемешивали и нагревали на водяной бане при 70 °С в течение 10 мин. Затем смесь охлаждали до комнатной температуры и приливали 0,1 мл 3 %-го раствора хлоргидрата L-цистеина. Смесь выдерживали при комнатной температуре 30 мин.

Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре СФ-56 при $\lambda = 396$ и 430 нм, длина оптического пути – 10 мм.

Содержание фукоидана в пересчете на сухое вещество (%) вычисляли по формуле (3):

$$X_{\text{ф}} = \frac{(D_{\text{ф}}^{396} - D_{\text{ф}}^{430}) \cdot m_0 \cdot 100 \cdot 5}{(D_0^{396} - D_0^{430}) \cdot m_{\text{ф}} \cdot (100 - W) \cdot 100 \cdot 50} \quad (3)$$

где D_0^{396} , D_0^{430} – оптическая плотность испытуемых растворов при длинах волн 396 и 430 нм;

$D_{\text{ф}}^{396}$, $D_{\text{ф}}^{430}$ – оптическая плотность раствора фукоидана при длинах волн 396 и 430 нм;

$m_{\text{ф}}$ – навеска сырья, г;

m_0 – навеска фукоидана, г;

W – потеря в массе сырья при высушивании, %.

Исследование **микроструктурных характеристик мякиша** хлебобулочных изделий проводили на просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения Jeol JEM-2100, при предварительном обезвоживании продукта в вакууме и нанесении золотого покрытия.

Исследование **стресс-протекторного влияния** хлеба «Антистресс» на субъективные и объективные психологические показатели проводили с использованием следующей батареи методик: «Самочувствие, активность, настроение» (САН, В.А. Доскин, В.А. Лаврентьева), интегративный тест тревожности (ИТТ, А.П. Бизюк, Л.И. Вассерман), уровень социальной фрустрированности (УСФ, Л.И. Вассерман, Б.В. Иовлев, М.А. Березин), тест на определение стрессоустойчивости личности (Н.В. Киршева, Н.В. Рябчикова), тест самооценки стрессоустойчивости (С. Коухен, Г. Виллиансон), оценочная шкала стрессовых событий Холмса – Раге (The Holmes and Rage Stress Inventory, T. Holmas, R. Rage). В качестве математического инструментария для оценки

значимости различий между результатами начального и конечного тестирования использовался непараметрический *T*-критерий Вилкоксона.

Для оценки влияния включения хлеба «Антистресс» в рацион людей на *процессы гомеостаза* (показатели функциональности гипофизарно-надпочечниковой системы) было проведено исследование биохимических показателей в сыворотке крови (уровень кортизола хемилюминесцентным методом) волонтеров до и после употребления хлебобулочных изделий, которые определялись на базе МЦ «Дом здоровья».

Для статистического анализа использовались сводные таблицы, показывающие количество обследованных испытуемых, средние значения, стандартные отклонения, медианы, минимум и максимум для непрерывных переменных и количество и проценты для дискретных переменных.

ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

3.1 Состояние потребительского рынка хлебобулочных изделий Российской Федерации

Хлебопекарная промышленность является одной из ведущих отраслей АПК и обеспечивает около 10 % выручки всей пищевой промышленности. В настоящее время в стране действует около 10 тыс. хлебозаводов (по оценке Российской гильдии пекарей и кондитеров (РОСПиК) – более 13 тыс.), в том числе 1,5 тыс. крупных; кроме того, достаточно хорошо развита сеть пекарен.

Основной тренд развития хлебопекарной промышленности в мире – повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий, в основном за счет расширения ассортимента продукции диетического назначения и обогащения изделий лимитирующими нутриентами.

Национальный проект «Демография» в части Федерального проекта «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» учитывает увеличение доли граждан, обеспеченных доступом к отечественным пищевым продуктам, способствующим устранению дефицита микро- и макронутриентов, до 50 % к 2023 г. и до 60 % к 2025 г. путем формирования у граждан ответственного отношения к своему здоровью [54].

Сегодня потребитель ориентирован на широкое предложение товара в сегменте продуктов для здоровья: лечебно-профилактические и функциональные виды хлебобулочных изделий, а также изделия из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки (чаще всего это простой хлеб).

В России объемы производства специализированных хлебобулочных изделий, в том числе диетических, а также обогащенных микронутриентами, невелики и составляют лишь 59 тыс. т в год (порядка 2 % в структуре

производства изделий хлебобулочных) при потребности 150–200 тыс. т. Лишь 13 % предприятий хлебопекарного сектора осуществляют выпуск продукции функционального и специализированного назначения [108].

По оценке РОСПиК, по итогам 2018 г. производство хлебопекарной продукции в РФ достигло 11,6 млн т, а продажа хлеба и булочных изделий выросла на 1,9 % и составила 728,9 млрд р. При этом максимальную долю в продажах хлеба и хлебобулочных изделий традиционно занимают хлебобулочные изделия из пшеничной муки – в среднем 49,8 % от натурального объема продаж продукции. Структура производства хлебобулочных изделий по отдельным ассортиментным группам представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Объемы производства хлебобулочных изделий по отдельным ассортиментным группам в РФ (данные Росстата за 2018 г.) [108]

Самый высокий рост продаж хлеба и хлебобулочных изделий среди регионов Уральского федерального округа (ФО) показала Челябинская область – 11,8 % за три квартала 2019 г. к аналогичному периоду 2018 г. Продажи в Уральском ФО составили 62,7 млрд р. (или 8,6 % от всего объема розничной торговли хлебом и булочными изделиями в России) [43].

На Уральский ФО приходится 12 % выпуска диетических хлебобулочных изделий по стране. Рост производства специализированных хлебобулочных изделий, в том числе диетических, а также обогащенных микронутриентами, в 2018 г., по данным Росстата, был выше, чем в среднем по стране: на 53,4 % к 2017 г. Однако по итогам 11 месяцев 2019 г. производство изделий хлебобулочных, обогащенных микронутриентами, стало меньше на 8,9 %, чем за тот же период 2018 г. [43].

Хлеб относится к продуктам массового спроса, имеет высокую социальную значимость, в связи с чем производство изделий хлебобулочных должно не только обеспечивать насыщенность потребительского рынка, но и быть ориентированным на конечного потребителя [37].

В соответствии с утвержденными в 2016 г. «Рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания», суточное потребление хлеба взрослым населением снизилось с 330 до 260 г в сутки [90].

Однако статистические данные указывают, что россияне потребляют существенно больше изделий хлебобулочных, чем рекомендует Министерство здравоохранения и социального развития (на 18,0–21,8 %). В России средний объем потребления хлеба достаточно стабилен, диапазон колебаний в течение анализируемого периода (2008–2018 гг.) составил плюс-минус 1,5 % [108].

Для обеспечения безопасности изделий хлебобулочных регламентированы условия их реализации в соответствии с «Правилами розничной торговли хлебом и хлебобулочными изделиями», согласно которым диетические хлебобулочные изделия должны размещаться на отдельных стеллажах. Помимо ценников, к изделиям должны вывешиваться аннотации по их использованию [89].

Однако в 80 % случаев отсутствует сегментирование диетических изделий хлебобулочных в ассортиментной линейке; как правило, они выкладываются в общей совокупности хлебобулочной продукции. Основным принципом при размещении изделий хлебобулочных является распределение их по видам или, в редких случаях, по производителям. При этом отсутствует дополнительная

информация на маркировке упаковок или ярлыках, указывающая на особые характеристики.

В настоящее время розничная сеть г. Челябинска представлена предприятиями розничной торговли различной специализации и ценовой политики, в ассортименте которых практически всегда потребителям предлагаются изделия хлебобулочные [99].

Для установления фактической обеспеченности потребителей обогащенными хлебобулочными изделиями была составлена выборка предприятий розничной торговли, в которую попали: компания Auchan Retail (гипермаркет «Ашан»); ООО «Лента» (гипермаркеты «Лента»); АО «METRO GROUP» (ТЦ «METRO»); X5 Retail Group (универсамы «Пятерочка» и супермаркеты «Перекресток»); АО «Тандер» (магазины «Магнит»); ПАО «Дикси Групп» (магазины «Дикси»); ООО «МОЛЛ» (магазины «Молния» и «SPAR»); ТС «Монетка» (магазины «Монетка»); ТД «СИТНО» (магазины «СИТНО»).

При изучении ассортимента изделий хлебобулочных учитывалось, что ведущими производителями в Челябинской области являются следующие хлебопекарные предприятия:

– АО «Первый хлебокомбинат» (г. Челябинск) – обеспечивает 60 % ежедневного оборота хлебобулочных изделий. На предприятии вырабатывается около 100 наименований продукции, среди которых выделены традиционные, заварные, итальянские, национальные виды хлеба, а также линейка хлебов для здорового питания;

– ООО «Объединение «Союзпищепром» (г. Челябинск) – крупнейший производитель продуктов питания из растительного сырья в Челябинской области. В последнее время компания занимается производством продукции категории Health&Wellness и выпускает линейку продуктов под брендом «Здоровое меню»;

– ООО Фирма «Мэри» (г. Челябинск) является сравнительно молодым, но активно развивающимся предприятием по выпуску хлебобулочных и

кондитерских изделий. На данный момент хлебный цех предприятия выпускает более 50 т различной продукции в сутки;

– ОАО «Магнитогорский хлебокомбинат» (г. Магнитогорск) ежедневно производит и реализует 60 т хлебобулочных изделий, входит в состав продовольственной корпорации «СИТНО»;

– ООО Продовольственная группа «Русский хлеб» (г. Магнитогорск) производит более 10 т хлеба в сутки. Кроме традиционных хлебов, компания предлагает широкий ассортимент хлебов для здорового питания.

Из перечня хлебопекарных предприятий в совокупную выборку для исследования ассортимента обогащенных видов изделий хлебобулочных были определены: АО «Первый хлебокомбинат», ООО «Объединение «Союзпищепром», ООО Фирма «Мэри», в ассортименте которых присутствуют виды хлеба, которые позиционируются как продукты, полезные для здоровья.

В таблице 11 и на рисунке 7 представлен анализ состава изделий хлебобулочных, которые по мнению производителя позиционируются как продукты «для здорового питания».

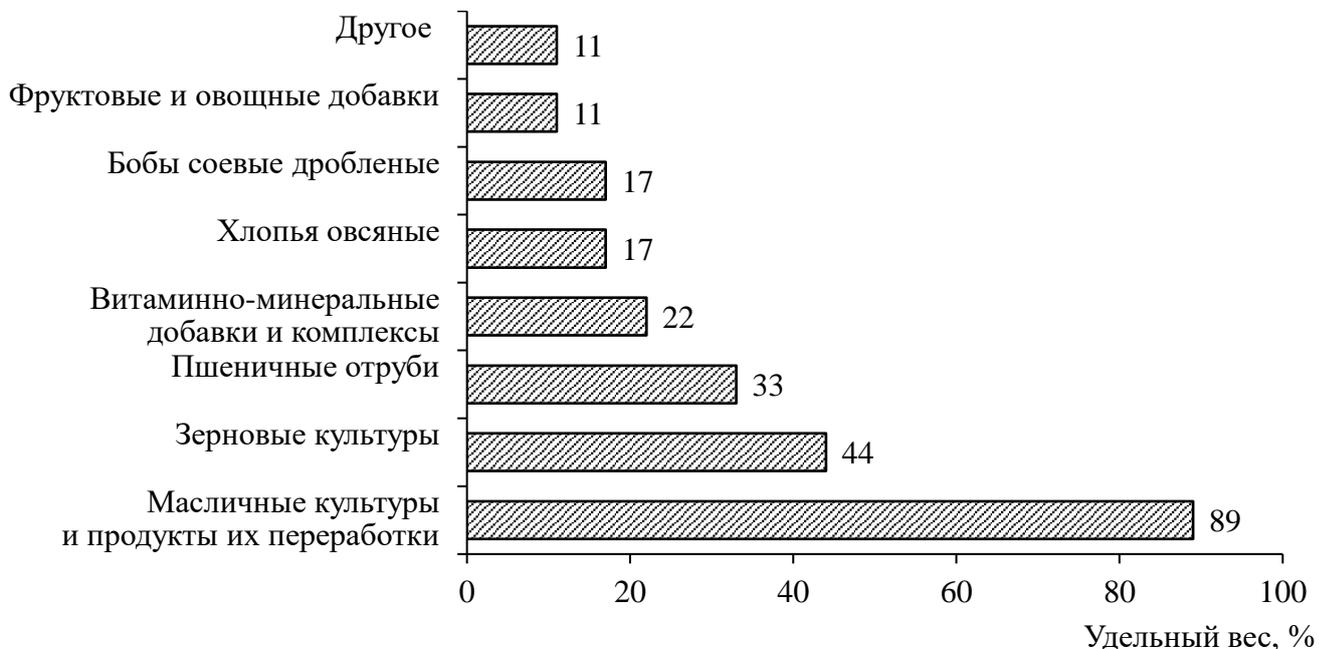


Рисунок 7 – Пищевые ингредиенты, используемые в производстве хлебобулочных изделий, %

Таблица 11 – Ассортимент изделий хлебобулочных сегмента «для здорового питания», производимый и реализуемый на потребительском рынке Челябинской области

Производитель	Наименование изделия хлебобулочного	Действующий ПИ в составе продукта, заявленный производителем (маркировочные данные)	Физиологическая ценность ПИ в отношении НИЗ (согласно литературным данным)
АО «Первый хлебокомбинат»	Батон диетический йодированный «Федоровский»	Отруби пшеничные, йодказеин	Профилактика йодной недостаточности и связанных с ней патологий щитовидной железы, а также сердечно-сосудистых заболеваний. Нормализация деятельности ЖКТ
	Хлебец «Бездрожжевой» на ржаной закваске	Пищевые волокна	Нормализация деятельности ЖКТ. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний, ожирения, сахарного диабета второго типа, некоторых видов рака
	Хлеб «Гречнёвь»	Гречневая мука	Снижение риска развития анемии. Профилактика метаболических нарушений, заболеваний ЖКТ, сердечно-сосудистых заболеваний, а также ожирения
	Хлеб диетический витаминизированный «Зерновой с кальцием»	Пророщенное зерно пшеницы, витаминно-минеральная добавка (кальций, фолиевая кислота, железо, витамины группы В)	Профилактика ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний, онкологических заболеваний, диабета второго типа, заболеваний ЖКТ
	Батон «Зерновой»	Цельнозерновая пшеничная мука	–
	Хлеб «Изобилие»	Цельнозерновая пшеничная мука, семена льна, морковь сушеная, клетчатка яблочная	Профилактика заболеваний сердечно-сосудистой системы, нарушений работы ЖКТ
	Хлеб «Мультизлак»	Семена подсолнечника, кунжута, отруби пшеничные	Профилактика заболеваний сердечно-сосудистой системы, нарушений работы ЖКТ, ожирения
	Хлеб «Чемпион-Лидер»	Семена подсолнечника, льна, крупа соевая пшеничные отруби	–
	Хлеб диетический «Мультисид» с низким гликемическим индексом	Семена тыквы, подсолнечника, льна, пшеничные отруби, овсяные хлопья	Профилактика заболеваний нарушенного углеводного обмена, сердечно-сосудистой системы, нарушений работы ЖКТ

Продолжение таблицы 11

Производитель	Наименование изделия хлебобулочного	Действующий ПИ в составе продукта, заявленный производителем (маркировочные данные)	Физиологическая ценность ПИ в отношении НИЗ (согласно литературным данным)
ООО Фирма «Мэри»	Хлеб «Купеческий» ржано-пшеничный	Семена подсолнечника	–
	Хлеб «Ржаное чудо» ржано-пшеничный	Кориандр	–
	Хлеб диетический «Тонус»	Семена подсолнечника, льна, пшеничные отруби	–
	Хлеб диетический «Мультизлак» с низким гликемическим индексом	Овсяные хлопья, семена льна, подсолнечника, кунжута, соевых бобов	Профилактика заболеваний нарушенного углеводного обмена, сердечно-сосудистой системы, нарушений работы ЖКТ
ООО «Объединение «Союзпищепром»	Хлеб «Английский завтрак»	Семена подсолнечника, кунжута	–
	Хлеб «Ржаное чудо» зерновой на закваске	Мука ржаная цельнозерновая	–
	Хлеб «Шведский» зерновой на закваске	Мука ржаная цельнозерновая	–
	Хлеб «Кукурузный» диетический	Кукурузная мука	–

На основании представленных данных можно говорить о том, что сегмент изделий хлебобулочных «для здорового питания» формируется производителями чаще всего путем изменения рецептурного состава с включением продуктов переработки масличных и зерновых культур и других ПИ.

Только на маркировке продукции, производимой на АО «Первый хлебокомбинат», присутствует информация, характеризующая свойства этих изделий. При этом дополнительное описание приводится лишь на 6 из 9 позиций.

Изучение аналитических материалов позволяет детально описать свойства отдельных часто встречаемых ПИ.

Пшеница, рожь, овес, гречиха, кукуруза в виде зерновых смесей, хлопьев или цельносмолотой муки позволяют обогатить хлебобулочные изделия ценными макро- и микронутриентами, заключенными в целом зерне. Пшеничные отруби используются в качестве источника клетчатки, витаминов группы В, полиненасыщенных жирных кислот.

Масличные культуры (чаще всего подсолнечник, кунжут, лен, кориандр) и продукты их переработки (горчичное масло) являются источником липидов с высоким содержанием эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот, белков, а также характеризуются ценным минеральным составом.

Включение в рецептуру хлеба витаминно-минеральных добавок применяется лишь на одном предприятии (АО «Первый хлебокомбинат»). В качестве обогатителей используются йодказеин (с содержанием йода 7–10 %), витаминно-минеральная смесь (витамины В1, В2, В6, РР, фолиевая кислота, железо, кальций).

В качестве добавок из бобовых культур наибольшую популярность приобрели продукты переработки сои, которая позволяет обогатить хлебобулочные изделия незаменимыми аминокислотами.

Добавки из продуктов переработки овощей (морковь сушеная, семена тыквы) позволяют исключить использование улучшителей из технологии производства хлебобулочных изделий, а также повысить пищевую ценность продукции за счет витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, содержащихся в растительном сырье.

Таким образом, в качестве положительного фактора можно отметить присутствие на потребительском рынке Челябинской области сегмента хлебобулочной продукции «для здорового питания». Однако используемые подходы для развития ассортимента, на наш взгляд, мало связаны с основными проблемами возникновения НИЗ, обусловленными экологическим состоянием территории (описанными в п. 1.1).

3.2 Анализ потребительских предпочтений при выборе изделий хлебобулочных

Для определения удовлетворенности потребителей ассортиментом хлебобулочной продукции и прогноза потенциального спроса было проведено социологическое исследование в виде анкетного опроса (приложение Г).

Основная цель исследования – изучение отношения жителей к экологической ситуации в регионе, потребительских предпочтений при выборе хлеба, а также потребности населения в продуктах, снижающих риски НИЗ.

Исследование проводилось в период с сентября по декабрь 2018 г., в опросе участвовало 384 жителя Челябинской области (г. Челябинск и г. Магнитогорск) в возрасте от 17 до 65 лет различного социального статуса (коэффициент ответа – 94,4 %). Сбор данных проводился посредством онлайн и личного опросов.

Оценивая экологическую обстановку территорий, на которых проживают, большинство респондентов (76,2 %) охарактеризовали ее как неблагоприятную. Вместе с тем большинство (73,8 %) респондентов отметили, что в последние годы экология в регионе ухудшилась; 101 респондент (26,1 % опрошенных) не заметили изменений в состоянии окружающей среды. При этом не нашлось ни одного человека, который считал бы, что экологический фон в последние годы улучшился (рисунок 8).

Респондентам было предложено высказать мнение относительно системы субъективного восприятия своего здоровья. На вопрос «Считаете ли Вы себя здоровым человеком?» лишь 37,1 % опрошенных ответили утвердительно.



Рисунок 8 – Мнения респондентов об экологической обстановке в Челябинской области: *а* – состояние экологии на данный момент; *б* – изменение экологии в последние годы

Среди опрошенных 23,6 % респондентов имеют хронические заболевания, в число которых входят:

- заболевания органов пищеварения (31,25 %);
- аллергии и заболевания верхних дыхательных путей (25 %);
- эндокринные заболевания (18,75 %);
- сердечно-сосудистые заболевания (12,5 %);
- другие (12,5 %).

На вопрос «Понимаете ли Вы, что для снижения рисков влияния экологии на здоровье человека необходимо расширять сегмент продуктов „для здорового питания“?» большинство (83,8 %) опрошенных ответили утвердительно.

Чаще всего горожане приобретают продукцию данной направленности массового спроса: хлебобулочные изделия (зерновой хлеб, изделия с отрубями, хлеб, обогащенный микронутриентами), молочные продукты (кисломолочные продукты с про-, пре- и симбиотиками, бифидобактериями). Кроме этого, респонденты часто приобретают детское питание (фруктовое и овощное пюре, мясные консервы), кондитерские изделия (злаковые батончики, белковые батончики, кондитерские изделия на сахарозаменителях), сахарозаменители (фруктоза, стевия), йодированную соль.

Блок вопросов о потребительских предпочтениях при выборе хлеба включал следующие пункты.

Потребительские предпочтения при выборе вида хлебобулочных изделий определились следующим образом (рисунок 9).

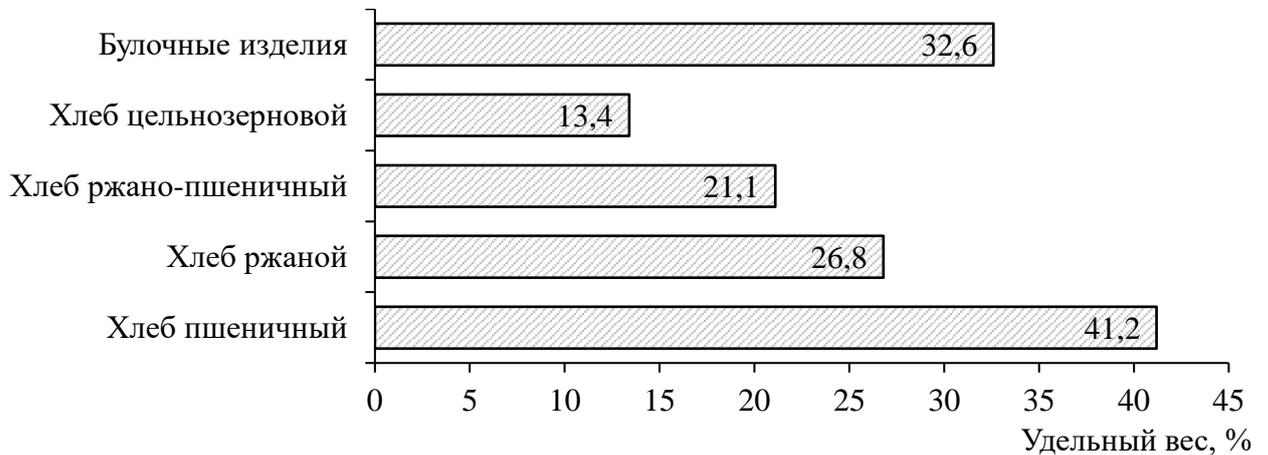


Рисунок 9 – Потребительские предпочтения при выборе хлебобулочных изделий, %

Как видно из рисунка 9, наиболее часто покупаемым хлебобулочным изделием является хлеб из пшеничной муки высшего, первого или второго сортов (41,2 % опрошенных), на втором месте по популярности – мелкоштучные булочные изделия (32,6 %), на третьем – хлеб ржаной (26,8 %), затем хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки в разном соотношении (18 %) и хлеб с использованием цельносмолотой муки, злаковых и масличных культур (12,4 %).

При покупке хлеба и хлебобулочных изделий потребители в основном ориентируются на следующие индикаторы (рисунок 10).

Из рисунка 10 видно, что при выборе хлеба и хлебобулочных изделий потребители в первую очередь обращают внимание на свежесть – 73 %, состав – 38,3 %, вкусовую привязанность – 36 %, близость торговой точки к месту проживания или работы – 25,8 %, цену – 25,5 %, производителя – 14,6 %, внешний вид и упаковку – 1,6 % опрошенных.

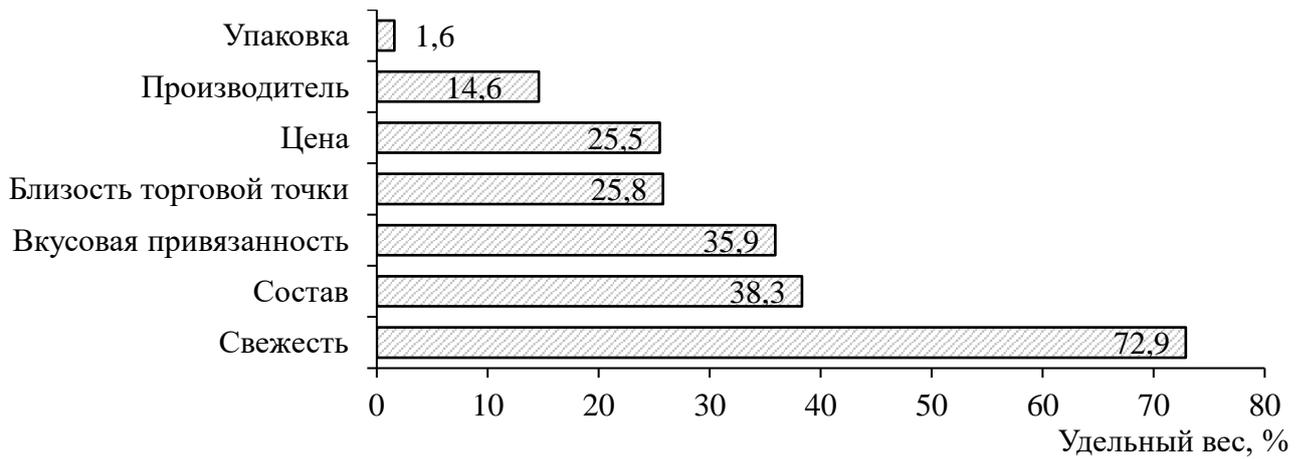


Рисунок 10 – Критерии, которыми руководствуются потребители при покупке хлебобулочных изделий, %

Большинство опрошенных потребителей (40,4 %) оценивают насыщенность торговой сети города функциональными хлебобулочными изделиями как слабую, 32,6 % опрошенных – как достаточную. При этом 25,8 % респондентов считают насыщенность торговой сети функциональных хлебобулочных изделий удовлетворительной и лишь 1,1 % – высокой.

На вопрос «Готовы ли Вы покупать изделия хлебобулочные, обогащенные полисахаридами бурых водорослей, зная, что их потребление способствует профилактике оксидативного стресса и НИЗ, вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом?» большинство респондентов (69,8 % опрошенных) ответили утвердительно.

Таким образом, совокупный анализ полученных результатов социологического исследования позволил установить, что большинство респондентов считают целесообразным расширение ассортимента продуктов «для здорового питания» и готовы покупать их.

При этом результаты исследования потребительских предпочтений показали, что хлебобулочные изделия из пшеничной муки пользуются наибольшим спросом, а значит, могут выступать в качестве продуктов для обогащения биологически активными пищевыми ингредиентами с целью снижения риска возникновения НИЗ, обусловленных экологическим состоянием территории.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ

В главе 3 диссертационной работы представлены материалы, доказывающие необходимость расширения ассортимента изделий хлебобулочных, обогащенных различными растительными пищевыми ингредиентами, обладающими адаптогенными свойствами. Было установлено, что для минимизации рисков возникновения стрессовых состояний, являющихся триггерным фактором НИЗ, возможно использовать БАВ, извлекаемые из бурых водорослей. Ранее в материалах п. 1.4 исследования представлены уже доказанные уникальные свойства фукоидана (сульфатированного гетерополисахарида), солей альгиновой кислоты и органического йода, которые обладают протекторными свойствами (антиоксидантной, противораковой и антивирусной активностью, иммуномодулирующими и сорбирующими свойствами). Описаны физические и структурные характеристики, которые ограничивают применение данных ПИ в исходном виде для обогащения пищевых систем. В связи с этим **задачей** данного раздела диссертационной работы являлось исследование свойств БАВ бурых водорослей, реализуемых на потребительском рынке в качестве пищевых ингредиентов, а также определение подходов для их модификации с целью использования в технологии изделий хлебобулочных.

4.1 Исследование свойств биологически активных веществ бурых водорослей и определение условий их размещения в пищевую систему хлеба

Для оценки свойств БАВ бурых водорослей были использованы коммерчески доступные образцы ПИ на основе фукоидана и йода разных производителей, которые в соответствии с сопроводительными документами имели следующие характеристики:

– образец 1 (далее – **ПИ 1**) – опытный образец фукоидана, выделенный из бурых водорослей семейства ламинариевых *Kjellmaniella crassifolia* (не менее 90 % чистоты), выращиваемый в прибрежных территориях г. Далянь, ферментативно обработанный для получения сырого экстракта (КНР);

– образец 2 (далее – **ПИ 2**) – БАД «FUCOID POWER-U», содержащая фукоидан морских бурых водорослей семейства алариевых и ламинариевых *Undaria pinnatifida* и *Laminaria japonica* в количестве не менее 66 %, маннитол – 19,1 %, экстракт растения якон – 12,5 %, экстракт гриба шиитаке (витамин D) – 2,4 %, разработанная компанией Naewon Biotech, Inc. (Южная Корея);

– образец 3 (далее – **ПИ 3**) – БАД к пище «Фуколам-С-сырье» (ТУ 9284-067-02698170-2010), разработанная учеными лаборатории химии ферментов Тихоокеанского института биоорганической химии (ТИБОХ) ДВО РАН по оригинальной технологии, защищенной патентом № 2315487 (Россия). Свидетельство Федерального центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора о государственной регистрации БАД № 77.99.23.3.У.739.1.06 от 30.01.2006. Сырьем для получения БАД являются бурые водоросли семейства фукусовых *Fucus evanescens* с содержанием фукоидана не менее 60 % и альгинаты как адсорбенты и дополнительный источник йода.

Исходя из описания образцов следует, что только образец ПИ 1 представляет собой чистый фукоидан (не менее 90 %), ферментативно выделенный из бурых водорослей семейства ламинариевых *Kjellmaniella crassifolia*. Два других образца (ПИ 2 и ПИ 3) – это композиционные БАД с содержанием гетерополисахарида не менее 60–66 %. Причем только один образец – ПИ 3 «Фуколам-С-сырье» – может быть применен для технологии изделий хлебобулочных, так как имеет регистрационную документацию Роспотребнадзора и рекомендован для пищевой промышленности в качестве сырьевого компонента. В таблице 12 представлены данные из доступных нормативных документов, характеризующие регламенты качества и состава по органолептическим, физико-химическим показателям и показателям безопасности.

Таблица 12 – Регламентируемые показатели качества образцов БАВ бурых водорослей в соответствии с требованиями Спецификации FDA и ТУ

Наименование показателя	Нормативный документ и описание характеристик			
	Specification Certificate of Analysis MARINOVA Raw material: <i>Fucus vesiculosus</i>	Specification Certificate of analysis Haewon Biotech, Inc. Brown seaweed extract / Mekabu Fucoidan Raw material: <i>Undaria pinnatifida</i>	Specification Certificate of analysis Haewon Biotech, Inc. Brown seaweed extract / Kombu Fucoidan Raw material: <i>Laminaria japonica</i>	ТУ 9284-067-02698170-2010 «Фуколам-С-сырье»
1	2	3	4	5
Органолептические показатели				
Внешний вид	Порошок от белого до коричневого цвета	Порошок от белого до коричневого цвета	Порошок от белого до коричневого цвета	Однородный или мелковолоконный порошок, от светло-бежевого до коричневого цвета
Вкус и запах	Мягкий запах и вкус	Характерный	Характерный для водорослей	Приятный аромат водоросли, без посторонних привкуса и запаха
Наличие посторонних примесей	–	–	–	Не допускается
Физико-химические показатели				
Содержание полисахаридов, %, не менее	–	60,0	58,0	–
Массовая доля воды, %, не более	10,0	5,0–10,0	5,0	15,0
Массовая доля белка, %	–	4,0–7,0	5,0	–
Массовая доля жиров, %	–	0,1–0,05	4,0	–
Массовая доля фукоидана, %, в пересчете на абсолютно сухую массу, не менее	90,0	85,0	–	60,0

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5
Содержание сульфатов (SO) ₄ , %	–	Не менее 25,0	Не менее 22,0	21,0
Массовая доля золы, %	–	20,0–30,0	Не менее 28,0	22,0
pH	4,0–7,0 (1 % раствор при 25 °C)	–	–	–
Размер частиц	80 % менее 300 мкм	–	–	–
Показатели безопасности				
Токсичные элементы, мг/кг, не более:	–	10,0	10,0	–
свинец	1,0	–	2,0	5,0
кадмий	3,0	–	–	1,0
мышьяк	Без спецификации	5,0	2,0	3,0
неорганический мышьяк	2,0	–	–	–
ртуть	1,0	–	–	1,0
медь	Без спецификации	–	–	–
Пестициды	Соответствует USP	–	–	–
Микробиологические показатели				
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	10000	1000	1000	50000
БГКП (колиформы) в 1,0 г	Не допускаются	–	–	Не допускаются
<i>E. coli</i> в 1,0 г	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	–
Патогенные (в том числе сальмонеллы) в 10,0 г	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
<i>S. aureus</i> в 1,0 г	Не допускаются	–	–	–
Плесень и дрожжи, КОЕ/г, не более	100	–	100	100

Исследуемые образцы ПИ с целью установления их приемлемости для размещения в пищевую систему изделий хлебобулочных оценивали по расширенной номенклатуре показателей качества: органолептические показатели, растворимость (визуальная характеристика), вязкость растворов, активная кислотность, гранулометрический состав, содержание йода.

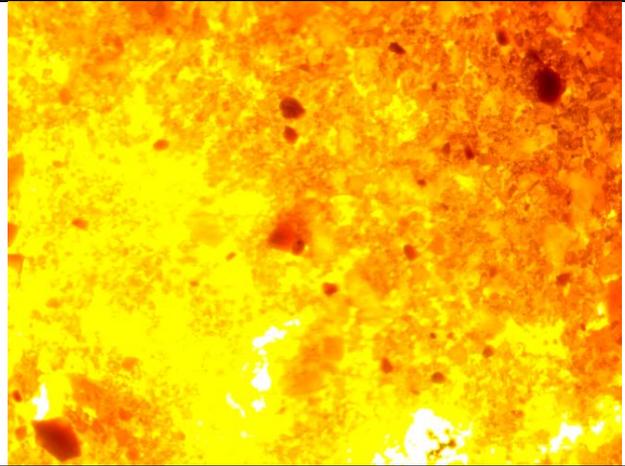
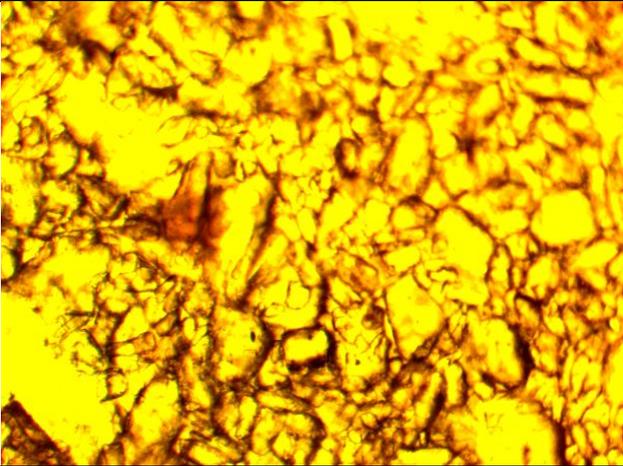
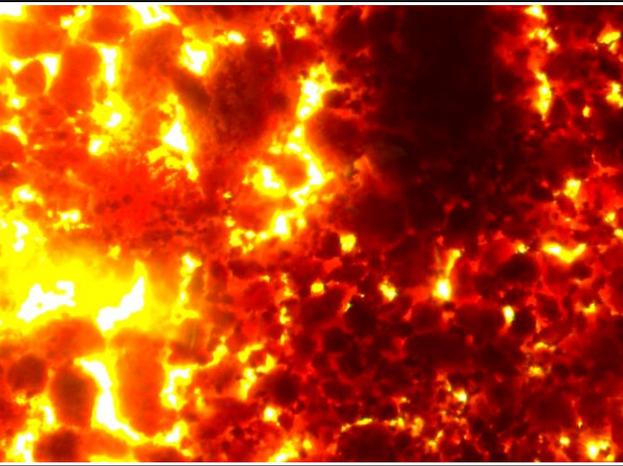
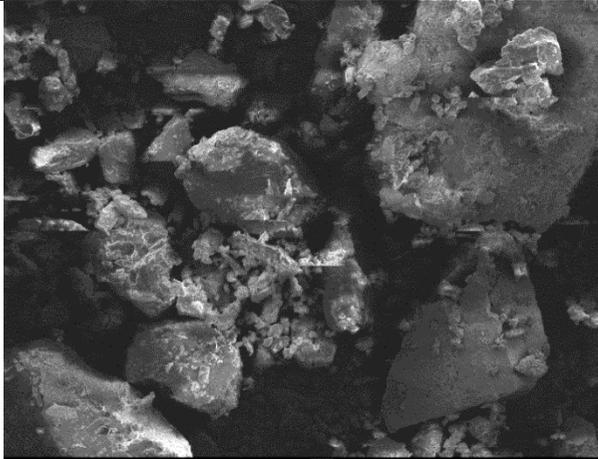
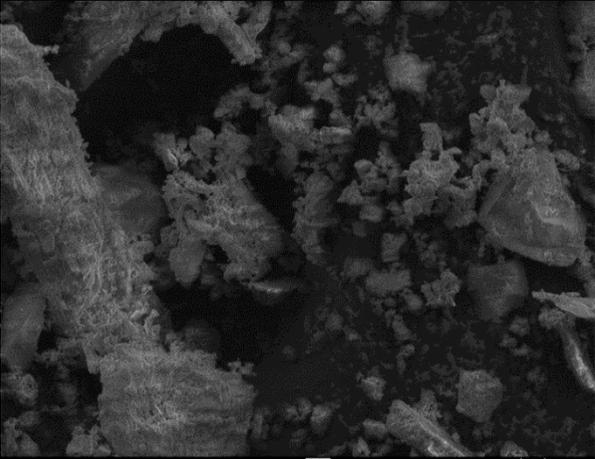
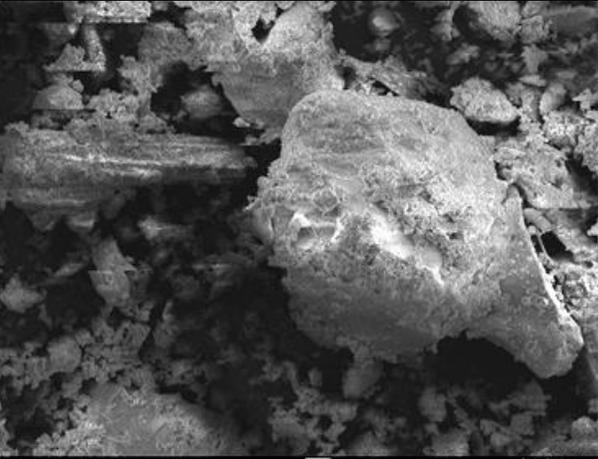
Результаты оценки органолептических показателей образцов ПИ, представленные в таблице 13, указывают на значительную их разнородность.

Таблица 13 – Результаты исследования образцов БАВ бурых водорослей по органолептическим показателям

Показатель	Наименование образцов		
	ПИ 1	ПИ 2	ПИ 3
Внешний вид и консистенция	Мелкодисперсный порошок, неоднородный, с включениями	Мелкодисперсный, однородный по массе порошок	Крупнодисперсный порошок, неоднородный, с включениями частиц
			
Цвет	Светло-бежевый с включениями коричневого цвета	Светло-бежевый	От светло-бежевого до коричневого цвета
Вкус и запах	Слабо уловимый запах водорослей, вкус слегка сладковатый	Приятный вкус и запах водорослей	Слабовыраженный вкус и запах водорослей

Визуально зафиксировано различие во внешнем виде: порошки обладали разной дисперсностью, видимо наличие разноразмерных частиц, причем наиболее явно это прослеживается у образца ПИ 3 «Фуколам-С-сырье». При детальном изучении данного образца в поле зрения визуализируются частицы разной структуры, цвета и размеров. Результаты микроскопических исследований морфологических характеристик образцов ПИ с использованием СЭМ, представленные в таблице 14, доказывают различие в визуальном восприятии.

Таблица 14 – Результаты исследования микроструктурных и морфологических характеристик образцов ПИ

ПИ 1	ПИ 2	ПИ 3
Изображения с использованием инвертированного биологического микроскопа «МИКМЕД-И» (увеличение ×40)		
		
СЭМ-изображения (×500 10 мкм)		
 <p data-bbox="331 1422 763 1447">X 500 3.0kV SEI SEM WD 9mm 13:26:42</p>	 <p data-bbox="987 1422 1417 1447">X 500 3.0kV SEI SEM WD 9mm 13:04:23</p>	 <p data-bbox="1641 1422 2074 1447">X 500 3.0kV SEI SEM WD 9mm 13:12:14</p>

Следует отметить, что специфический запах водорослей практически отсутствует у всех образцов. Ощущаются только приятные оттенки, что весьма приемлемо для гармоничного встраивания ПИ в флейворные характеристики изделий хлебобулочных.

Опытные образцы ПИ имели различия в растворимости (рисунок 11а), которые также обусловлены структурой и химическим составом. Наилучшая растворимость наблюдалась у образца ПИ 1, раствор был прозрачный с легкой опалесценцией, соломенного цвета.



а – состояние системы после разведения

б – состояние системы через 12 часов после разведения

Рисунок 11 – Внешний вид растворов при разведении в соотношении ПИ:Н₂О (1:5)

Растворы образцов ПИ 2 «FUCOID POWER-U» и ПИ 3 «Фуколам-С-сырье» растворяются значительно хуже, практически непрозрачны, достаточно быстро приобретают вязкую консистенцию, тактильно ощущается липкость. Цвет растворов данных образцов коричневый разной интенсивности. По истечении 12 ч (рисунок 11б) наблюдалось гелеобразование, в растворе формировался уплотненный осадок.

В отличие от порошков ПИ, их растворы имеют характерный для водорослей запах разной интенсивности, наиболее выраженный у раствора ПИ 2 «FUCOID POWER-U»; у остальных образцов запах невыраженный, с легкими водорослевыми оттенками.

Результаты исследования физико-химических показателей растворов ПИ (таблица 15) дополняют результаты органолептической оценки. Показатели вязкости сопоставимы с описанными выше визуальными характеристиками. Так, полученные значения по данному показателю варьируют в диапазоне от 0,030 до 0,100 Па·с, причем растворы ПИ 1 и ПИ 3 имеют близкие значения, в отличие от ПИ 2 «FUCOID POWER-U». При регулировании процесса получения растворов ПИ, на наш взгляд, возможно обеспечить оптимальные свойства растворов для их эффективного распределения при введении компонента в систему продукта.

Таблица 15 – Результаты исследования образцов БАВ бурых водорослей по физико-химическим показателям и структурным характеристикам

Наименование показателя	Наименование образцов		
	ПИ 1	ПИ 2	ПИ 3
Вязкость, Па·с	0,032 ± 0,001	0,100 ± 0,001	0,030 ± 0,001
Активная кислотность, ед. рН	4,78 ± 0,05	6,22 ± 0,05	5,64 ± 0,05
Массовая доля йода, %	0,12 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,39 ± 0,02
Размер частиц, мкм	44,40 мкм – 50 % 16,02 мкм – 50 %	43,65 мкм – 48,2 % 15,82 мкм – 51,8 %	103,9 мкм – 22,9 % 32,14 мкм – 77,1 %

Показатели активной кислотности растворов ПИ различны в зависимости от особенностей состава и укладываются в диапазон регламента, обозначенного в Typical Food Grade Specifications of Fucoidan (GRAS Notice (GRN) No. 661) – рН от 4,0 до 7,0 (1 % суспензия при 25 °С).

Определение массовой доли йода в образцах ПИ показало корреляцию с органолептическим восприятием показателя «вкус и запах», наибольшее содержание компонента установлено в образце ПИ 3 «Фуколам-С-сырье» – (0,39 ± 0,03) %.

В соответствии со спецификацией GRAS Notice (GRN) No. 661 дисперсия порошков ПИ должна содержать не менее 80 % частиц размером менее 300 мкм. Исследуемые образцы ПИ в полной мере соответствуют регламентируемым значениям.

Таким образом, все исследуемые образцы БАВ бурых водорослей по техническим характеристикам соответствуют требованиям, заявленным в нормативных документах, и могут применяться в качестве ПИ в технологии изделий хлебобулочных. Вместе с тем структурные параметры БАВ бурых водорослей (неоднородность состава, неравномерность дисперсии частиц, плохая растворимость) являются ограничительным фактором для проявления биологической активности в пищевой системе. Решение данной проблемы может быть достигнуто за счет модификации БАВ бурых водорослей, в частности деструкции полисахаридов, составляющих основную часть ПИ, с помощью низкочастотного ультразвукового воздействия.

4.2 Исследование применения ультразвукового воздействия для регулирования структурных характеристик и биоактивности биологически активных веществ бурых водорослей

По данным научных источников для гетерополисахарида фукоидана в зависимости от способа извлечения установлены размерные характеристики атомной единицы массы (а.е.м.) в диапазоне 100~1.000 кДа, определены размеры частиц порошка при его растворении – в среднем около $(1,7 \pm 1,3)$ мкм [50]. Для изменения структуры и атомной массы фукоиданов используют различные подходы, среди которых известны методы ферментативного и кислотного гидролиза, лучевого воздействия, а также радикальные методы воздействия. Однако при их использовании за счет химических преобразований происходит изменение биологической активности фукоиданов [116; 141; 174].

В наших исследованиях для **микроструктурирования** макромолекул фукоидана был применен метод низкочастотного ультразвукового воздействия (далее – НУЗВ), позволяющий обеспечить перевод размерного ряда частиц в наноразмерный уровень. Методика получения опытных и контрольных образцов растворов ПИ проводилась с учетом следующих условий:

– **контрольными образцами** служили 1 %-е водные растворы ПИ (ПИ 1, ПИ 2, ПИ 3), полученные путем растворения 1 г ПИ в 100 мл дистиллированной воды, нагретой до температуры 50 °С;

– для получения **опытных образцов** – микроструктурированных ПИ (ПИ_{микро}1, ПИ_{микро}2, ПИ_{микро}3) использовали 1 %-е водные растворы ПИ (ПИ 1, ПИ 2, ПИ 3), которые подвергали НУЗВ, применяя экспериментально установленный режим (мощность НУЗВ – 240 Вт/л в течение 20 мин) с использованием охлаждающей рубашки для поддержания температуры на уровне 50 °С.

Схема низкочастотной ультразвуковой установки, используемой для деструкции БАВ бурых водорослей, представлена на рисунке 12.

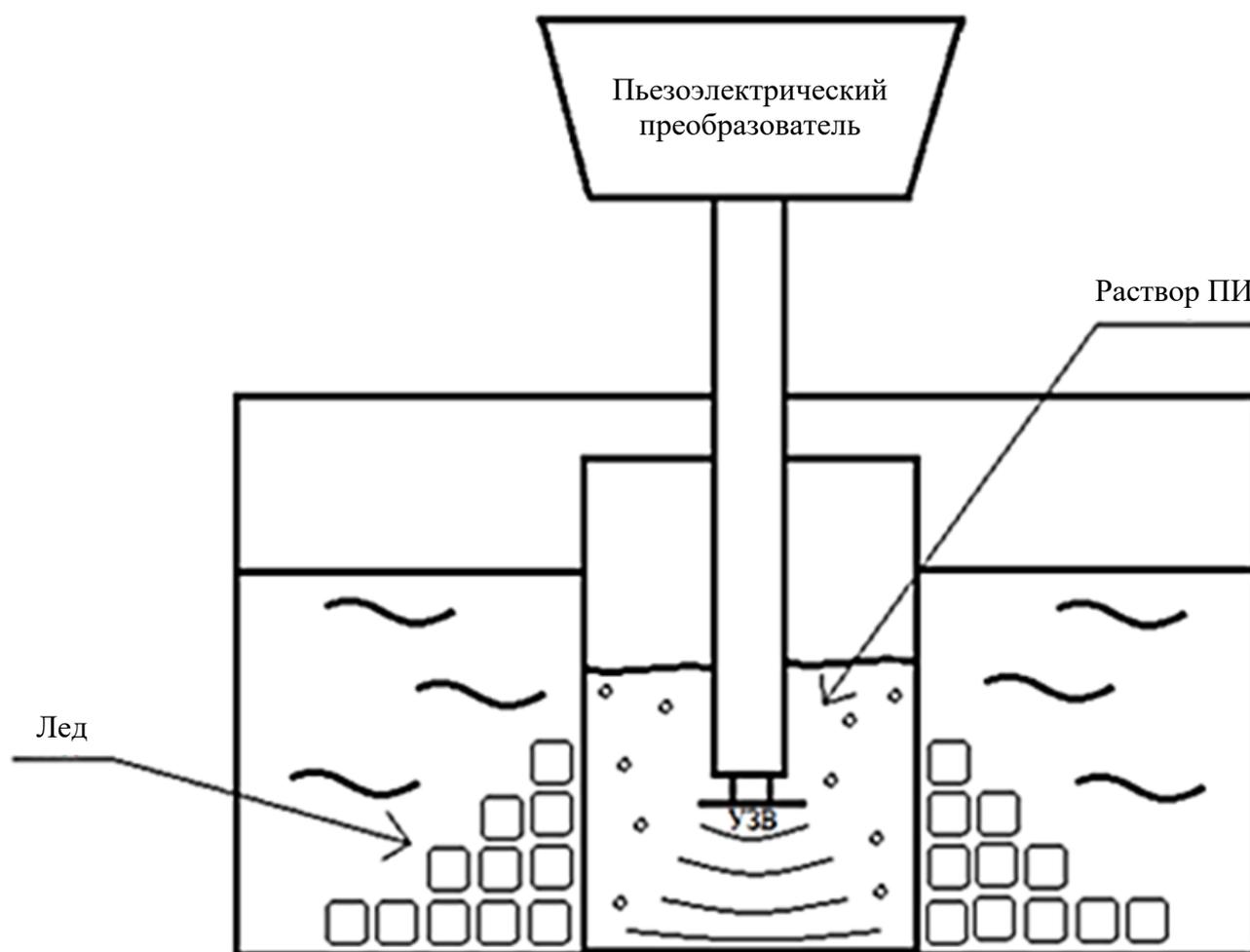


Рисунок 12 – Схема низкочастотной ультразвуковой установки, используемой для деструкции БАВ бурых водорослей

Влияние НУЗВ на изменение структурных характеристик БАВ бурых водорослей обусловлено прежде всего кавитационными эффектами, возникающими в водной системе растворов ПИ. Действующая сила имеет механический характер. Ультразвуковые волны в жидкой среде формируют попеременные циклы сжатия и расширения, что обуславливает рост пузырьков, находящихся в среде. По мере достижения объема, не позволявшего поглощать энергию, происходит схлопывание пузырьков. Во время схлопывания внутри пузырьков достигаются очень высокие температуры (до 1500 °С) и давление (50 МПа). Кавитация сопровождается теплообразующим процессом, поскольку молекулярное движение происходит с образованием энергии [133; 134; 175; 180].

На данном этапе проводились исследования **влияния НУЗВ на изменение структурных характеристик во взаимосвязи с показателями биологической активности ПИ**, при этом использовали один режим НУЗВ (мощность 240 Вт/л в течение 20 мин).

В научных работах E. Lahrson и др. доказано, что для фукоиданов, полученных из разных видов водорослей, установлены свои соотношения молекулярной массы, степени сульфатирования и биоактивности [162]. Поэтому в экспериментальные исследования были включены все три образца фукоиданов (ПИ 1, ПИ 2, ПИ 3), имеющие разную природу, полученные разными методами. Результаты исследований влияния НУЗВ на структурные характеристики растворов ПИ представлены на рисунке 13 и в таблице 16.

При визуальной оценке растворов ПИ отмечено, что после ультразвукового воздействия система растворов за счет тонкой диспергированности частиц однородна, не имеет осадка. Растворы ПИ 2 «FUCOID POWER-U» и ПИ 3 «Фуколам-С-сырье» приобрели видимую вязкость без нарушения однородности системы раствора. Цвет стал более интенсивным, а запах – более выраженным, с приятными водорослевыми оттенками.

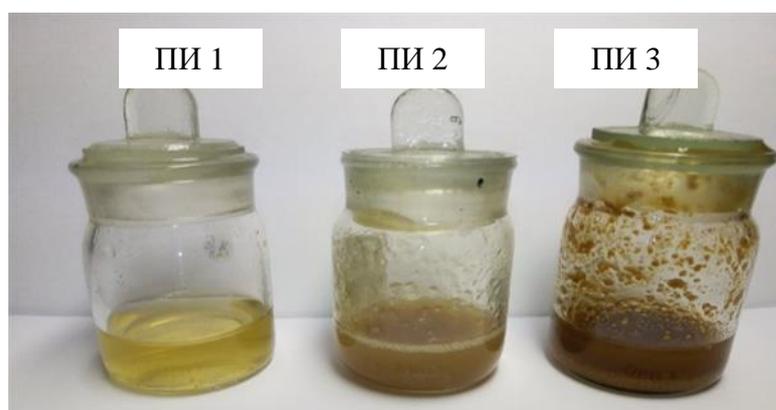
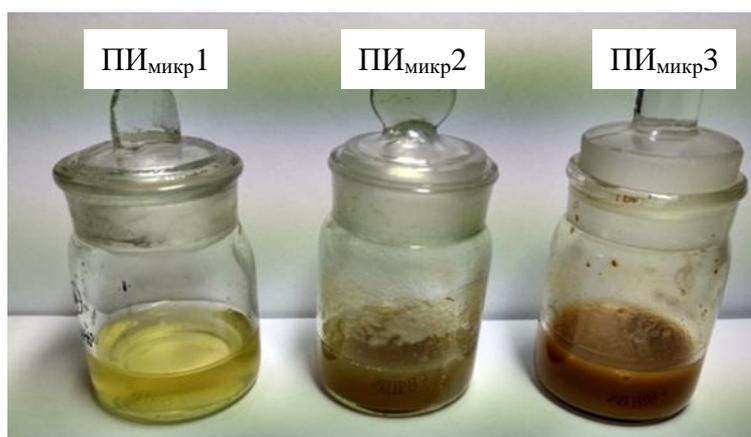
*а**б*

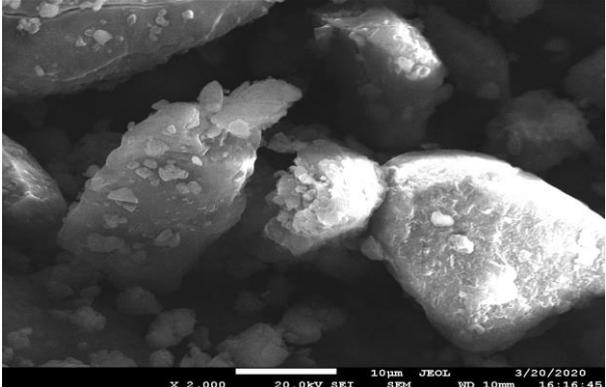
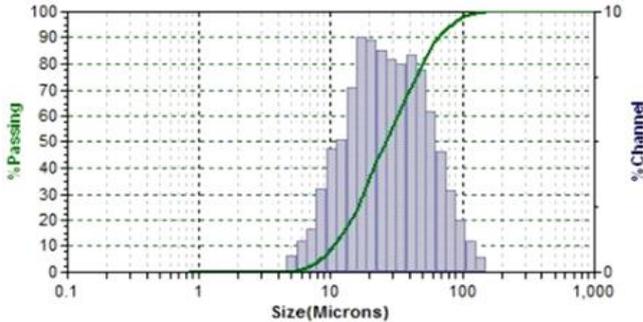
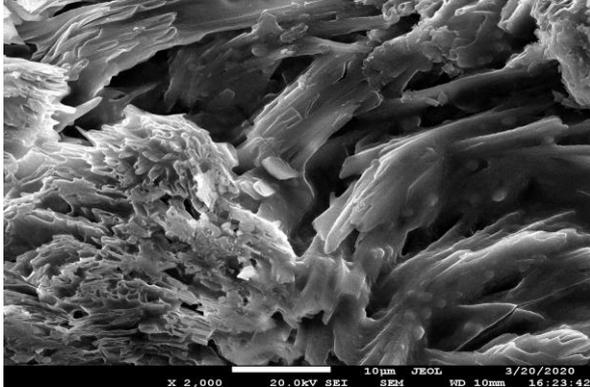
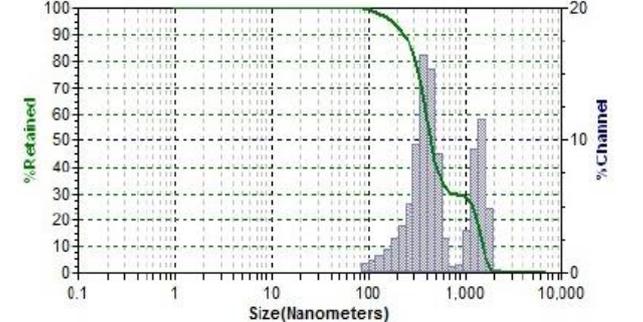
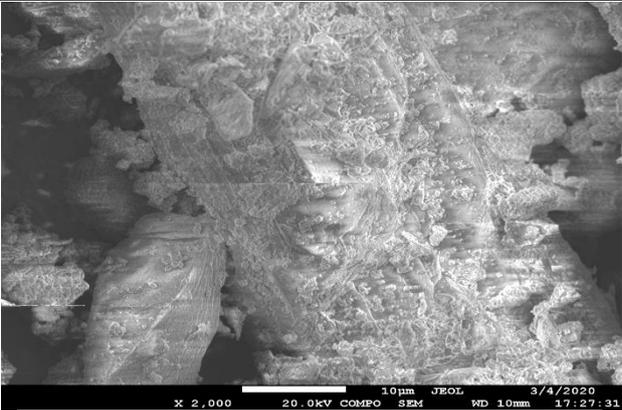
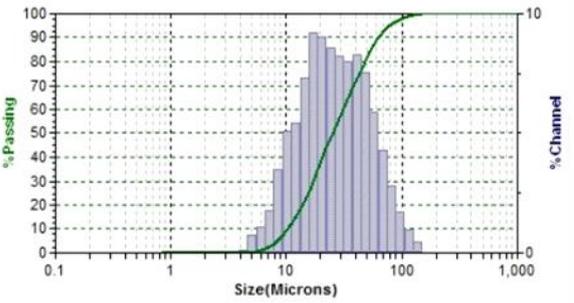
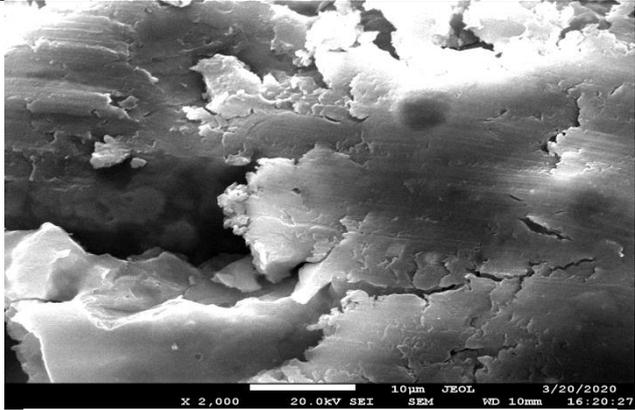
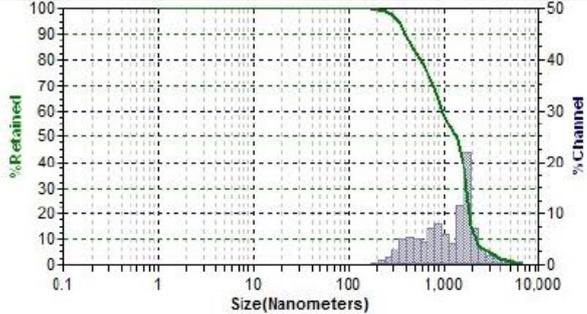
Рисунок 13 – Внешний вид растворов ПИ:

а – исходные водные растворы; *б* – растворы ПИ, обработанные НУЗВ

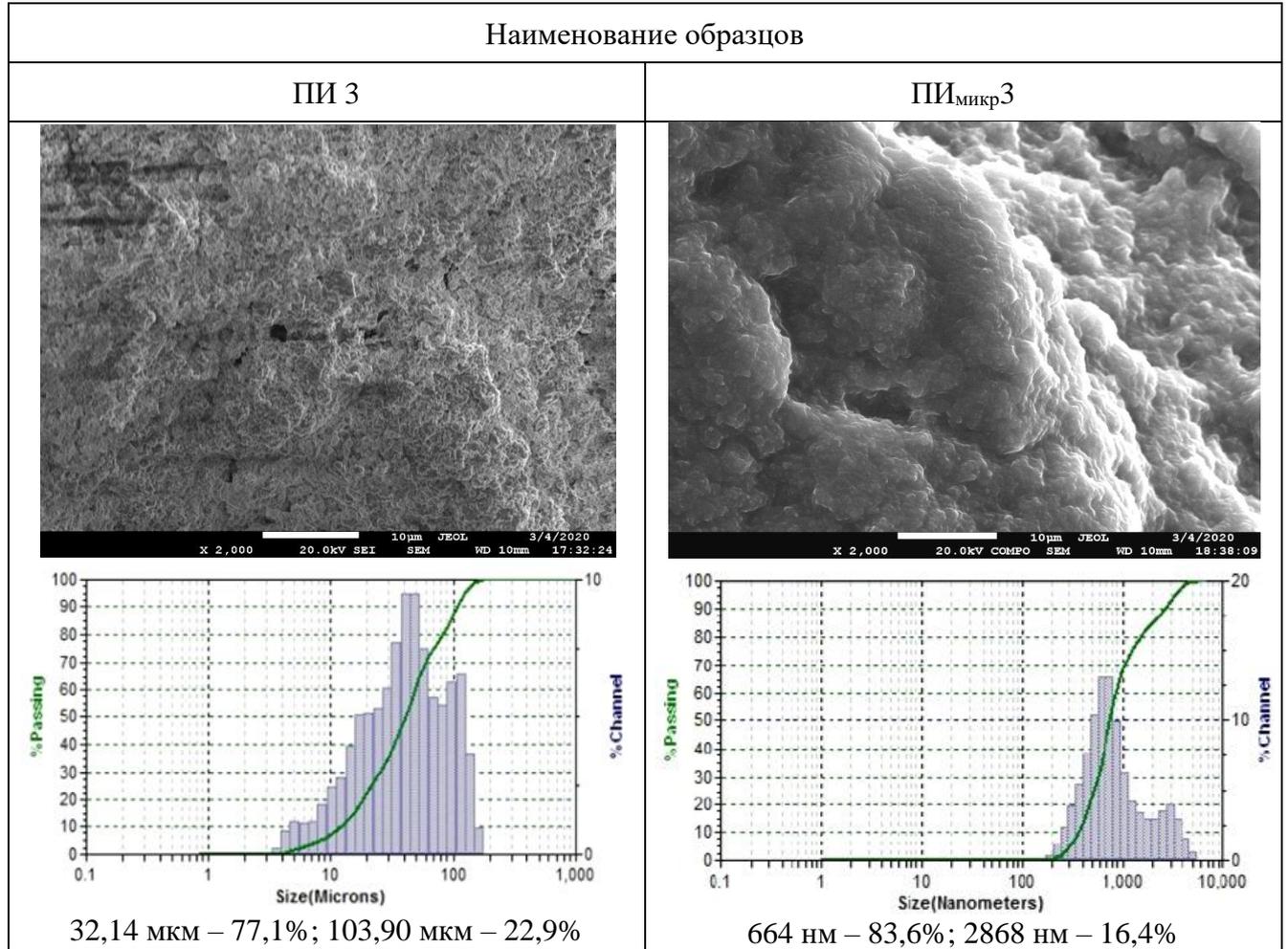
Проведено изучение морфологии частиц ПИ до и после обработки НУЗВ (таблица 16) с помощью СЭМ. Полученные снимки СЭМ (при увеличении от $\times 1500$ до $\times 2500$ 10 мкм) в сопоставлении с результатами оценки структурных характеристик ПИ (метод динамического рассеяния света Nanotrac Ultra) до и после НУЗВ позволяют детально охарактеризовать изменения, происходящие в процессе микроструктурирования.

Анализ СЭМ-изображений образцов ПИ показал, что в поле зрения наблюдаются частицы неправильной формы, разных размеров. После НУЗВ отмечено наличие структурных изменений. Наблюдается наличие набухших нитеподобных элементов, объединяющих мелкие частицы.

Таблица 16 – ПИ до и после НУЗВ (СЭМ-исследование $\times 2000$ 10 мкм и дисперсный состав)

Наименование образцов	
<p>ПИ 1</p>   <p>44,40 мкм – 50%; 16,02 мкм – 50%</p>	<p>ПИ_{микро}1</p>   <p>379 нм – 70%; 1411 нм – 30%</p>
<p>ПИ 2</p>   <p>43,65 мкм – 48,2%; 15,82 мкм – 51,8%</p>	<p>ПИ_{микро}2</p>   <p>432 нм – 24,2%; 893 нм – 25%; 1794 нм – 50,8 %</p>

Продолжение таблицы 16



При использовании НУЗВ наблюдается деполимеризация крупных конгломератов (размеры которых на мкм-уровне) на более короткие элементы (нм-уровень). Размеры частиц в среднем снижаются в 30–40 раз. Наиболее значимо это проявляется в образцах ПИ_{микр}3 «Фуколам-С-сырье» и ПИ_{микр}2 «FUCOID POWER-U», что согласуется с показателями вязкости этих растворов после НУЗВ.

НУЗВ изменяет вязкость растворов ПИ. Вероятно, это связано с природой полисахаридов, которые суспендируют в раствор, при этом частицы теряют форму и разрушаются, образуя кластеры разной вязкости (разрыв водородных связей и гидратация макромолекул). Результаты исследования вязкости растворов ПИ до и после НУЗВ представлены на рисунке 14.

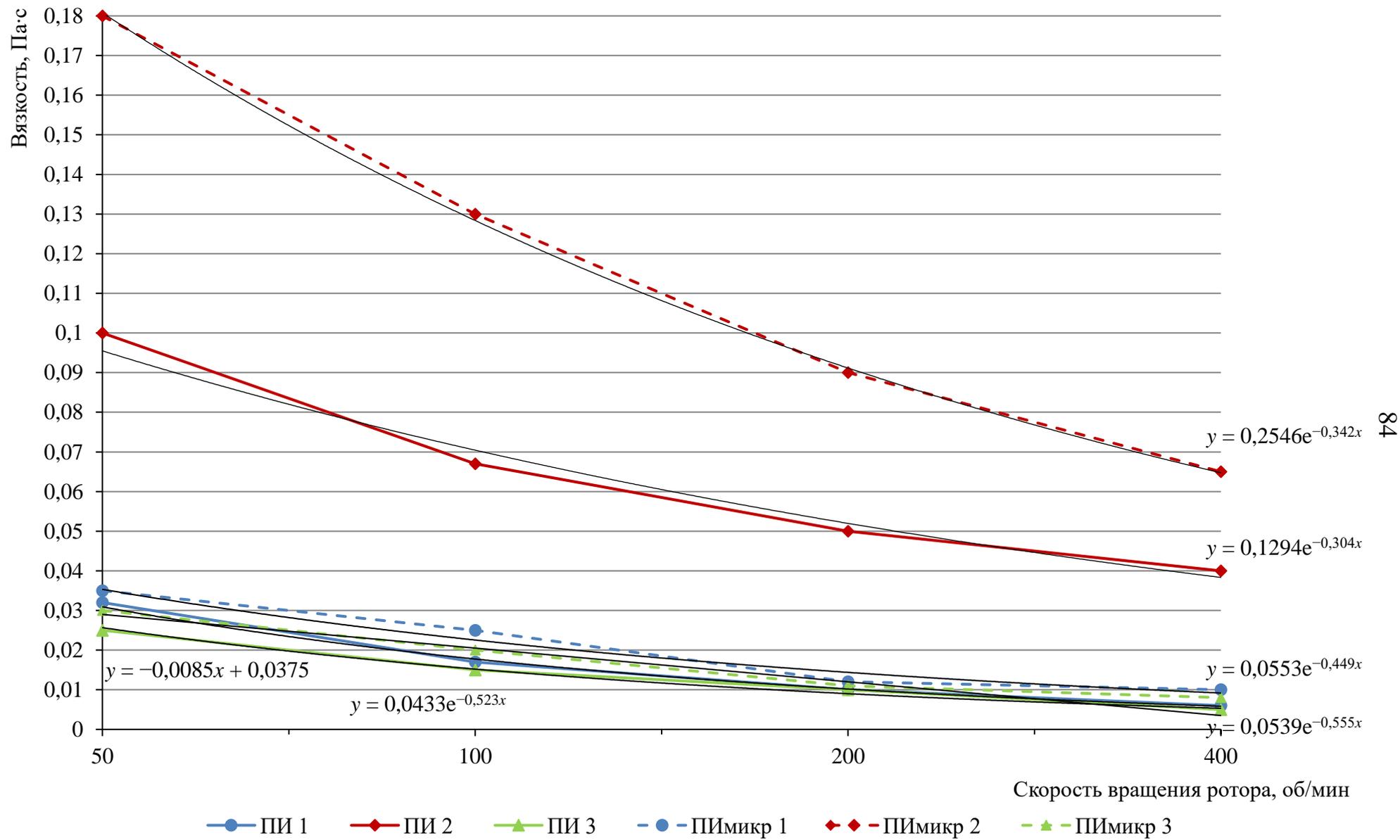


Рисунок 14 – Результаты исследования вязкости растворов ПИ до и после НУЗВ, Па·с

Как видно из рисунка 14, во всех образцах фиксируется некоторое повышение вязкости, наибольшее изменение в значении вязкости отмечено для образца ПИ_{микро}2 «FUCOID POWER-U» – на 80,0 %, для ПИ_{микро}3 «Фуколам-С-сырье» – на 20,0 %, для ПИ_{микро}1 – на 9,4 %.

Результаты исследования суммарной АОА БАВ бурых водорослей до и после НУЗВ показали, что наблюдается общая тенденция роста показателя АОА (рисунок 15). Так как антиоксиданты, содержащиеся в системе компонента, являются водорастворимыми, то при НУЗВ (мощностью 240 Вт/л в течение 20 мин) происходит микроструктурирование частиц, и суммарное значение АОА увеличивается в среднем на 3,8 %.

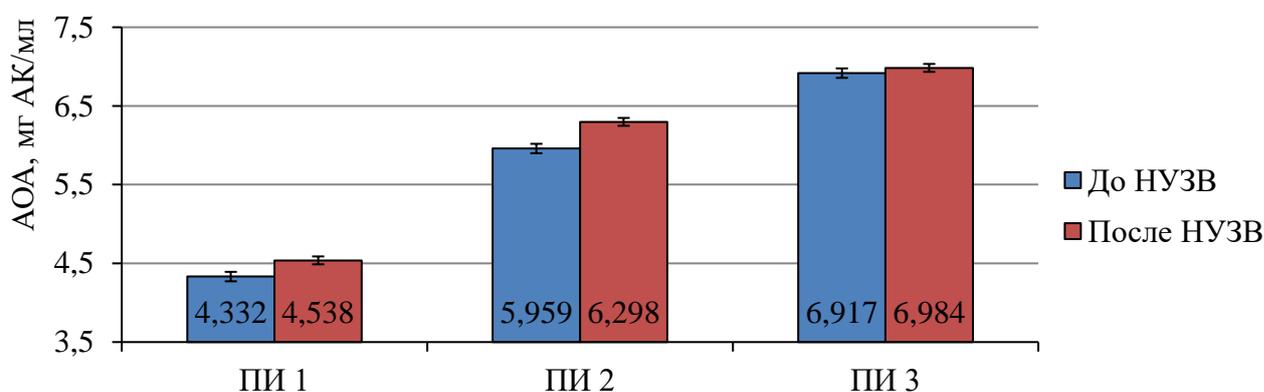


Рисунок 15 – Результаты исследования суммарной АОА БАВ бурых водорослей до и после НУЗВ, мг АК/мл

Различия в значениях АОА пищевых ингредиентов, по-видимому, обусловлены чистотой ингредиента, а также природой водорослей-сырья (*Kjellmaniella crassifolia*, *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica*, *Fucus evanescens*). Как известно, альгинаты, входящие в состав «Фуколам-С-сырье» (ПИ 3), а также маннитол и экстракт гриба шиитаке (источник витамина D), содержащиеся в «FUCOID POWER-U» (ПИ 2), также способны проявлять антиоксидантные свойства, что подтверждают полученные результаты.

Известно, что йод, содержащийся в растительных пищевых продуктах, лучше усваивается щитовидной железой, чем вводимый в виде препарата йодистого калия. Бурые водоросли содержат йод в органической и минеральной

формах, причем в значительно большем количестве, чем другие гидробионты (в среднем 0,1–0,2 % на сухую массу). Органически связанный йод присутствует в бурых водорослях в виде соединений с аминокислотами и белками [1; 97; 119; 160].

Полученные в ходе эксперимента значения массовой доли йода показали, что наибольшее количество йода содержится в образце ПИ 3 «Фуколам-С-сырьё», в котором содержатся альгинат натрия и фукоидан бурых водорослей семейства фукусовых *Fucus evanescens* (рисунок 16). Исходя из полученных данных можно утверждать, что процесс микроструктурирования ПИ на основе НУЗВ (мощностью 240 Вт/л в течение 20 мин) практически не оказывает влияния на содержание йода (колебания на уровне сотых долей).

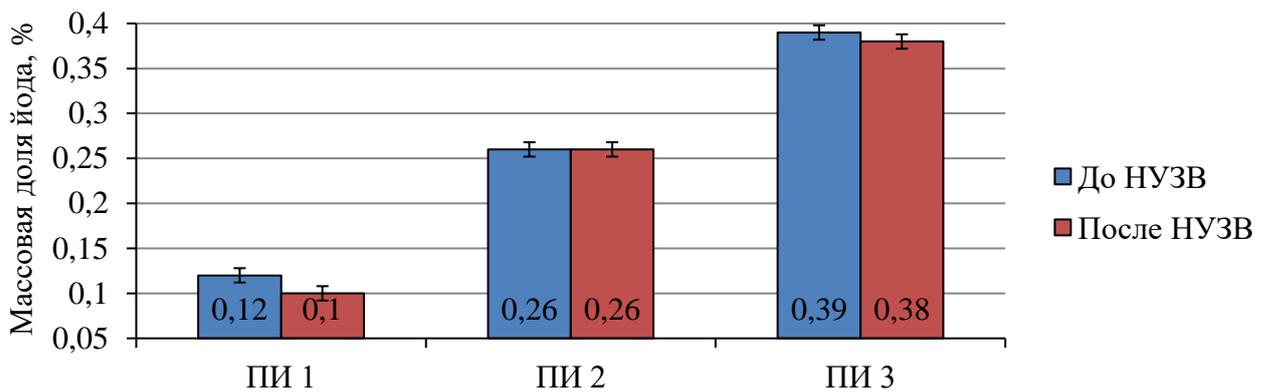


Рисунок 16 – Результаты оценки влияния НУЗВ на изменение массовой доли йода (в пересчете на сухое вещество) в исследуемых ПИ, %

Для ПИ важным показателем, определяющим их применение в технологии продуктов питания, является безопасность. Оценка безопасности и токсичности проводили по ГОСТ 31674-2012 с помощью автоматизированного аппаратно-программного комплекса «БиоЛат» на тест-организмах – инфузориях вида *Paramecium caudatum* путем подсчета количества выживших простейших в лунках с помощью программы Auto Ciliata сразу после подсаживания их в исследуемые растворы и через 2 ч после начала исследования. Оценка токсичности производится автоматически. В случае, если коэффициент выживаемости простейших менее 50 %, проба считается токсичной. В таблице 17 представлены

данные о выживаемости простейших в исследуемых растворах ПИ до и после НУЗВ.

Таблица 17 – Результаты исследования степени токсичности растворов БАВ бурых водорослей до и после НУЗВ на простейших *Paramecium caudatum*

Образец	Среднее количество инфузорий, шт.		Степень токсичности	Прирост, %
	Начало исследования	Конец исследования		
ПИ 1	159	184	нетоксичный	+15,7
ПИ _{микро} 1	280	346	нетоксичный	+23,6
ПИ 2	169	168	нетоксичный	-0,6
ПИ _{микро} 2	136	151	нетоксичный	+11,0
ПИ 3	108	109	нетоксичный	+0,9
ПИ _{микро} 3	169	218	нетоксичный	+29,0

По данным проведенных исследований было установлено, что БАВ бурых водорослей не токсичны и могут использоваться в технологии продуктов питания. НУЗВ (мощностью 240 Вт/л в течение 20 мин) не снижает безопасности, при этом прирост биомассы *Paramecium caudatum* составляет от 7,9 до 19,1 %. Полученные значения прироста доказывают безопасность и эффективность процесса микроструктурирования БАВ бурых водорослей на основе использования НУЗВ. Наиболее благоприятным НУЗВ было для ПИ 3 «Фуколам-С-сырье», для которого отмечено наибольший прирост (около 30 %) *Paramecium caudatum*. Следовательно, процесс микроструктурирования на основе НУЗВ способствует увеличению биодоступности БАВ бурых водорослей.

Учитывая весь массив данных, полученных в ходе предыдущих изысканий, для последующего этапа исследований, направленного на определение рациональных режимов НУЗВ для микроструктурирования БАВ бурых водорослей как обогатителей пищевой системы изделий хлебобулочных, был определен ПИ 3 «Фуколам-С-сырье».

4.3 Оптимизация процесса ультразвукового микроструктурирования биологически активных веществ бурых водорослей для их размещения в пищевую систему изделий хлебобулочных

Растительные ингредиенты, используемые для обогащения пищевых систем, как правило, обладают различными свойствами, которые должны проявляться комплексно. В рамках задач, поставленных в диссертационной работе, исследования БАВ бурых водорослей после проведения их ультразвукового микроструктурирования были направлены на изучение их биологической активности и влияния на основные биотехнологические процессы при производстве изделий хлебобулочных.

4.3.1 Определение рациональных режимов ультразвукового микроструктурирования биологически активных веществ бурых водорослей

Фукоидан, как указывалось выше, в исходной форме имеет высокую молекулярную массу, что обуславливает некоторые ограничения при применении его в качестве биологически активного вещества для обогащения пищевых систем. В связи с этим на данном этапе исследований будет осуществлен поиск рациональных режимов НУЗВ для микроструктурирования фукоидана при сохранении его биологической активности, в частности АОА.

Для определения рациональных режимов НУЗВ для микроструктурирования ПИ «Фуколам-С-сырье» были определены следующие вариации параметров ультразвукового воздействия:

- мощность, Вт/л – 240; 435 и 630;
- длительность экспозиции, мин – 20; 25 и 30.

Ультразвуковому воздействию подвергали растворы ПИ «Фуколам-С-сырье» 1 %-й концентрации, для этих целей использовали установку с охлаждающей рубашкой (рисунок 12), что обеспечивает стабильность температуры на уровне 50 °С. Контрольные образцы были получены путем растворения ПИ «Фуколам-С-

сырье» в дистиллированной воде с температурой 50 °С при механическом воздействии (перемешивании раствора).

Исследование контрольных (ПИ_{контр}) и опытных образцов (ПИ_{микр}) проводилось по следующей номенклатуре показателей:

- дисперсный состав (размер частиц, мкм, нм; количество частиц, %);
- вязкость, мПа·с;
- суммарная АОА, мг АК/мл.

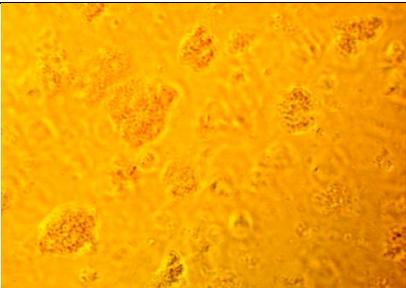
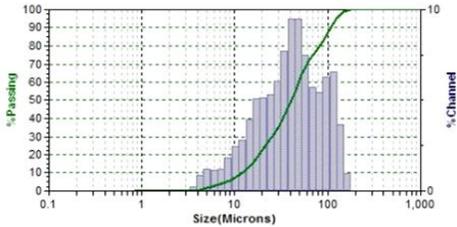
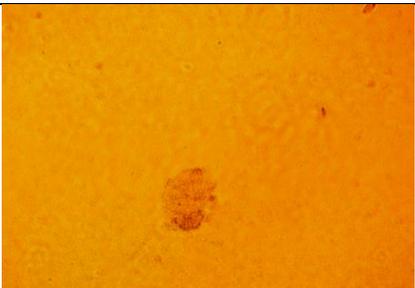
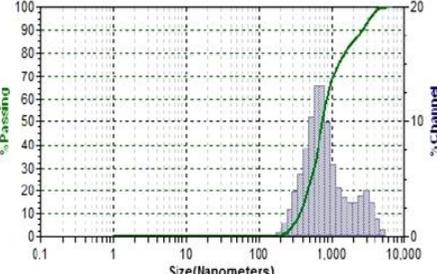
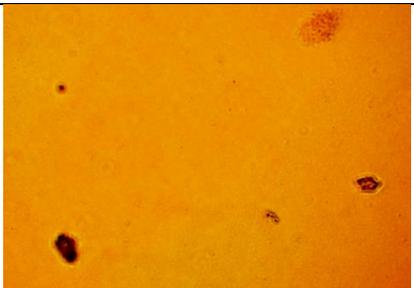
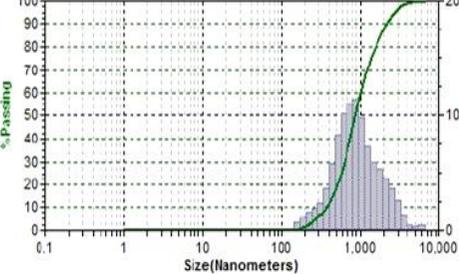
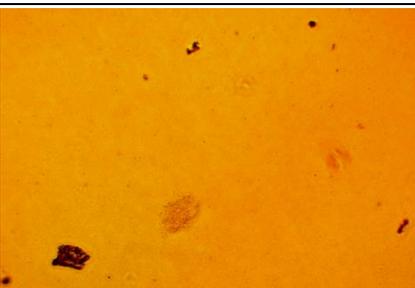
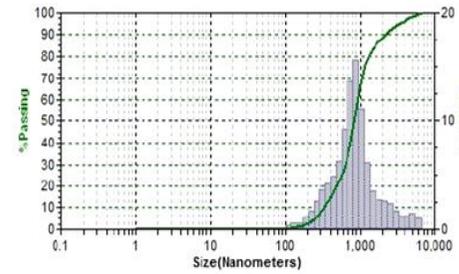
Результаты исследования дисперсного состава частиц в растворах ПИ_{контр} и ПИ_{микр} в сопоставлении с микрофотографиями, полученными с помощью инвертированного биологического микроскопа «МИКМЕД-И» (увеличение ×40), представлены в таблице 18.

Сопоставление визуальных данных с размерным рядом частиц указывает на значительные изменения в дисперсной системе растворов после ультразвукового воздействия. Так, если в контрольном образце визуализируются частицы неправильной формы, разных размеров и достаточно крупные (от 103,9 мкм – 22,9 % до 32,14 мкм – 77,1 %), то после НУЗВ крупные конгломераты деполимеризованы в более короткие элементы, причем с нарастанием мощности и времени экспозиции НУЗВ этот эффект становится более явным.

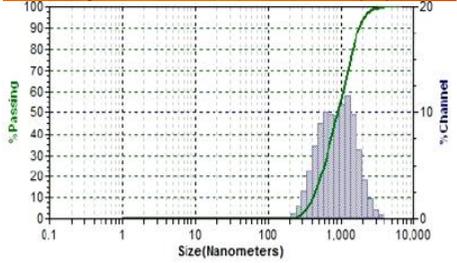
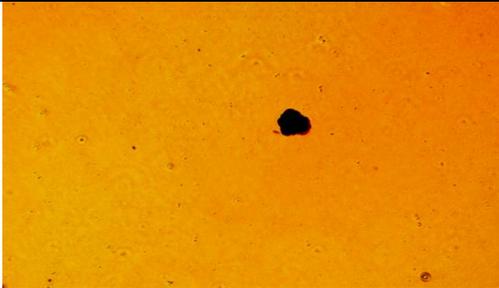
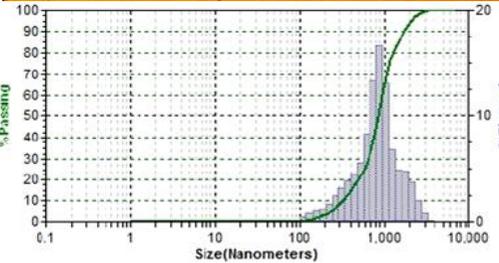
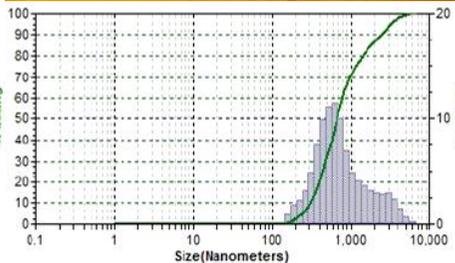
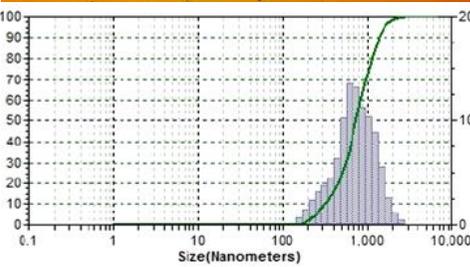
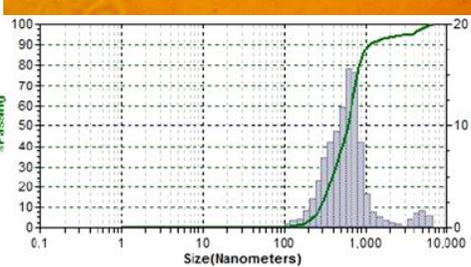
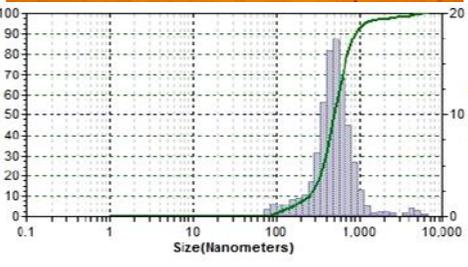
В результате НУЗВ размеры частиц исследуемых растворов ПИ «Фуколам-С-сырье» переходят в разряд нм-уровня и укладываются в следующие параметры пофракционно: от 664 нм (при мощности 240 Вт/л и времени экспозиции 20 мин), 652 нм (при мощности 435 Вт/л и экспозиции 30 мин) до 494 нм (при мощности 630 Вт/л и экспозиции 30 мин).

Процесс ультразвукового микроструктурирования позволяет разрушить сшивки между полисахаридами, в частности фукоиданом и альгинатами, которые присутствуют в БАД «Фуколам-С-сырье». Появление свободных функциональных групп и их взаимодействие с гидроксильными группами кавитированной воды влияет на вязкость растворов. Процессы сонолиза осуществляются внутри полимера и проявляются более активно при наращивании мощности и длительности воздействующего фактора [200].

Таблица 18 – Результаты исследования дисперсного состава растворов ПИ «Фуколам-С-сырье» в сопоставлении с морфологическим строением частиц до и после НУЗВ

ПИ _{контр}			
			 <p>103,9 мкм – 22,9 %; 32,14 мкм – 77,1 %</p>
ПИ _{микр}			
Мощность НУЗВ	Время экспозиции, мин		
	20	25	30
240 Вт/л	  <p>2868 нм – 16,4 %; 664 нм – 83,6 %</p>	  <p>858 нм – 100 %</p>	  <p>4910 нм – 4 %; 809 нм – 96 %</p>

Продолжение таблицы 18

Мощность НУЗВ	Время экспозиции, мин		
	20	25	30
435 Вт/л	  896 нм – 100 %	  846 нм – 100 %	  652 нм – 100 %
	  720 нм – 100 %	  4760 нм – 5,4 %; 574 нм – 94,6 %	  4430 нм – 1,9 %; 494 нм – 98,1 %

Изменения в дисперсии частиц согласуются с показателями вязкости растворов ПИ «Фуколам-С-сырье» после НУЗВ (рисунок 17), что характеризует усиление гидроколлоидных свойств полисахаридов.

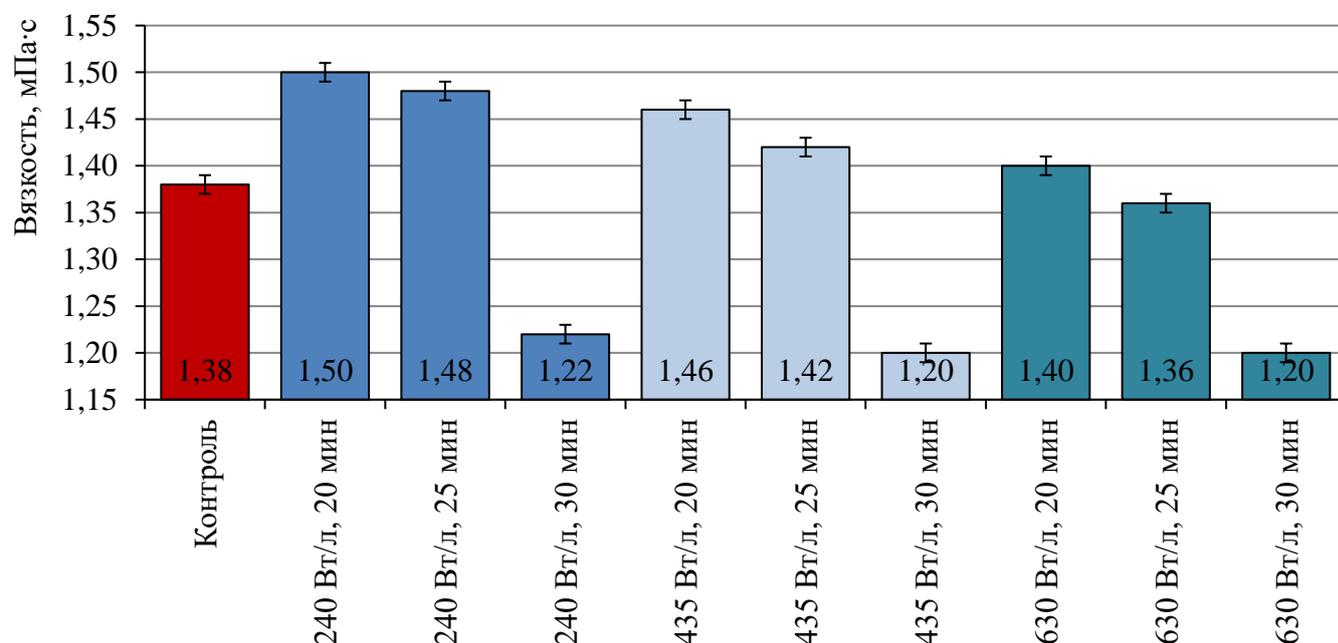


Рисунок 17 – Результаты исследования изменения вязкости ПИ «Фуколам-С-сырье» после НУЗВ, мПа·с

После НУЗВ в течение 20 мин наблюдается некоторое увеличение вязкости растворов, причем наиболее это заметно при малой мощности 240 Вт/л (увеличение на 8,7 %); вероятно, это связано с природой полисахаридов, которые гидратируют, образуя клейстеры. Полисахариды связывают воду в основном адсорбционно внутримицеллярно, при этом осмотическое связывание влаги невелико. При увеличении мощности НУЗВ и времени экспозиции происходит разжижение растворов, сопровождающееся снижением показателя вязкости (при 630 Вт/л, 30 мин – на 13 %), что свидетельствует о дальнейшей деструкции исходных форм полисахаридов.

В ряде работ [168; 169; 189; 197; 203] описано, что низкомолекулярные полисахариды, обладая высокой растворимостью, проникают в клетки и выполняют в них разные функции, в том числе функции антиоксидантов. На наш взгляд, исследование влияния НУЗВ на суммарную АОА (рисунок 18) позволит

доказать эффективность процесса ультразвукового микроструктурирования для повышения биологической активности БАВ бурых водорослей.

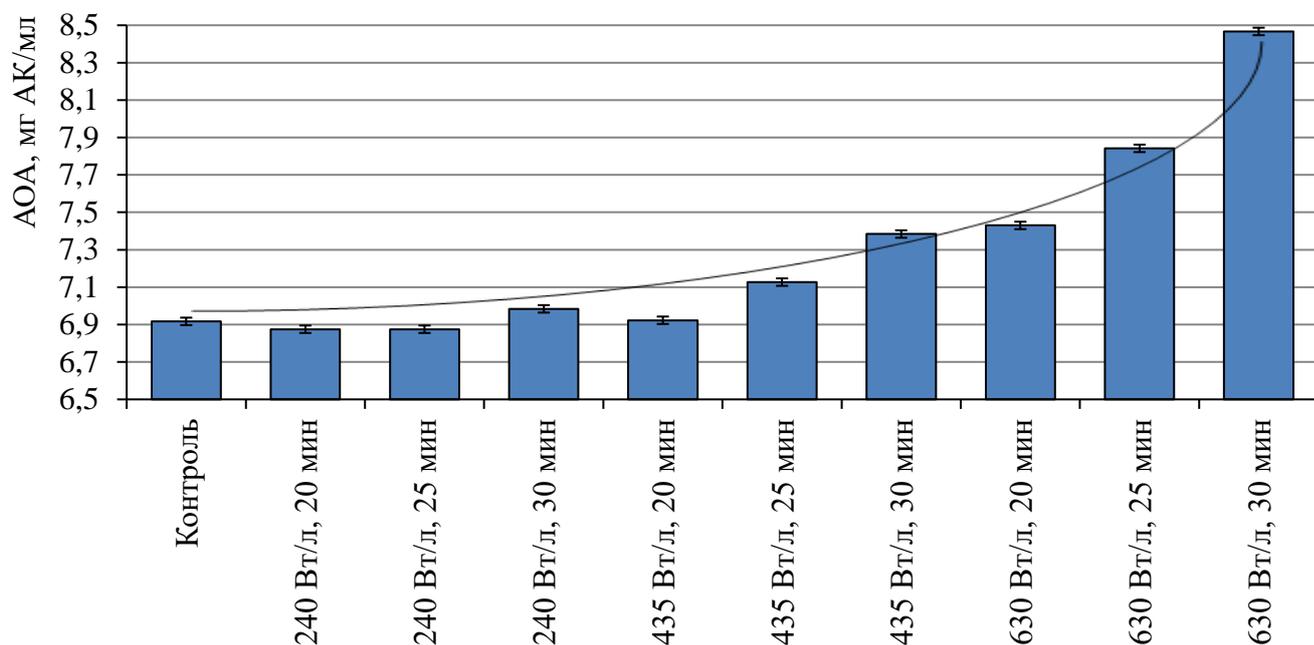


Рисунок 18 – Результаты исследования динамики изменения суммарной АОА ПИ «Фуколам-С-сырье» после НУЗВ, мг АК/мл

Анализ результатов исследования суммарной АОА ПИ «Фуколам-С-сырье» до и после НУЗВ показал, что с увеличением мощности и времени экспозиции происходит наращивание данного показателя (на 22,4 % при НУЗВ 30 мин мощностью 630 Вт/л). В ходе исследования влияния НУЗВ на суммарную АОА ПИ «Фуколам-С-сырье» были получены экспериментальные данные, указывающие на то, что при НУЗВ мощностью ниже 240 Вт/л значение показателя суммарной АОА практически не менялось, также данный эффект не наблюдался при воздействии менее 20 мин. При обработке НУЗВ мощностью 630 Вт/л более 30 мин прекращается наращивание показателя АОА, также при этом происходит удорожание технологии, связанное с увеличением энергозатрат.

С использованием методики центрального композиционного планирования, основанной на двухфакторном анализе, было проведено моделирование процесса микроструктурирования ПИ «Фуколам-С-сырье». В качестве переменных факторов были выбраны мощность НУЗВ (Вт/л) и время экспозиции (мин). За

контролируемые параметры были взяты дисперсный состав, рассчитанный как средневзвешенное значение размера частиц, а также значения суммарной АОА.

В результате решения задачи оптимизации были получены поверхности отклика (рисунок 19).

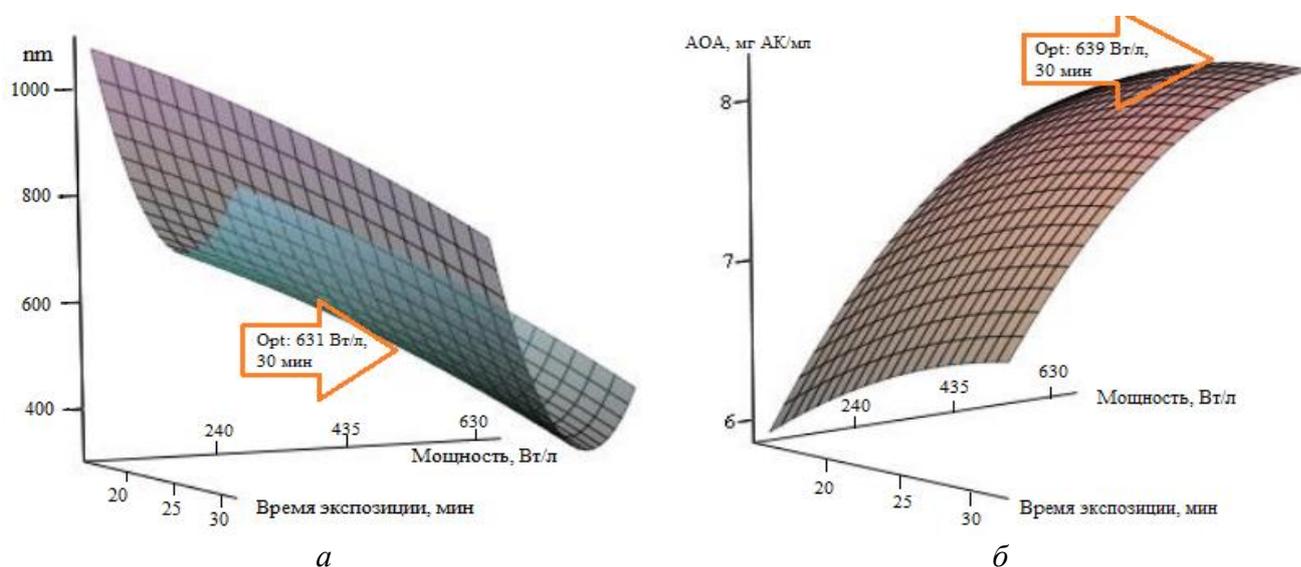


Рисунок 19 – Поверхность отклика зависимости от режимов НУЗВ:

а – дисперсного состава растворов; *б* – суммарной АОА растворов

Реализация плана двухфакторного эксперимента и статистическая обработка полученных данных позволили получить следующие уравнения регрессии, адекватно описывающие влияние НУЗВ на дисперсный состав (Y_1) и суммарную АОА растворов ПИ «Фуколам-С-сырье» (Y_2):

$$Y_1 = 1,499 \cdot 10^{-3} \cdot X_1^2 + 2,04 \cdot X_2^2 + 3,077 \cdot 10^{-3} \cdot X_1 X_2 - 1,984 \cdot X_1 - 122,938 \cdot X_2 + 3,035 \cdot 10^{-3}; \quad (4)$$

$$Y_2 = -9,564 \cdot 10^{-6} \cdot X_1^2 - 4,747 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 - 6,843 \cdot 10^{-5} \cdot X_1 X_2 + 0,014 \cdot X_1 + 0,331 \cdot X_2 - 1,338, \quad (5)$$

где X_1 – время экспозиции, мин; X_2 – мощность НУЗВ, Вт/л.

С учетом технических возможностей прибора и физического смысла величин для деполимеризации полисахаридов бурых водорослей был определен в качестве рационального следующий режим НУЗВ: мощность – 630 Вт/л, время экспозиции – 30 мин. Указанный режим использовался в дальнейших исследованиях ультразвукового микроструктурирования БАД «Фуколам-С-сырье».

4.3.2 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на активность хлебопекарных дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae*

В процессе хлебопечения большое значение отводится качеству используемых хлебопекарных дрожжей, прежде всего физиологическому состоянию и биохимической активности, так как от этого зависят структура полуфабриката, объем и форма готовых хлебобулочных изделий. Хлебопекарные дрожжи относятся к семейству *Saccharomycetaceae*, род *Saccharomyces*, вид *Saccharomyces cerevisiae*, являются биологическими разрыхлителями [48].

При разработке изделий хлебобулочных, обогащенных пищевыми ингредиентами (в нашем случае – микроструктурированный БАД «Фуколам-С-сырье»), необходимо отслеживать влияние вводимых добавок на биотехнологические характеристики хлебопекарных прессованных дрожжей. Технологическая роль хлебопекарных дрожжей в пшеничном тесте заключается в выделении ими углекислого газа, разрыхляющего тесто и придающего ему пористую структуру, а также этилового спирта, придающего специфический аромат и вкус готовым изделиям (процесс спиртового брожения). Вместе с тем дрожжи не всегда способны сохранять высокую активность и наполнять пищевую систему продуктами метаболизма [98].

Задача данного этапа работы состоит в исследовании влияния микроструктурированных полисахаридов бурых водорослей на технологические свойства хлебопекарных дрожжей как **биостимуляторов их активности**.

Объекты исследования. Дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс экстра» (ООО «САФ-НЕВА», г. Воронеж) использовались в качестве

биоматериала для получения дрожжевых суспензий. Качество оценивалось в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54731-2011 «Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия» (таблица 19).

Таблица 19 – Исследование качества образцов дрожжей хлебопекарных прессованных «Люкс экстра» (ООО «САФ-НЕВА», г. Воронеж)

Наименование показателя	Характеристика, значение показателя	
	Фактические значения	Норма согласно ГОСТ Р 54731-2011
Органолептические показатели		
Внешний вид	Плотная масса, легко ломается и не мажется	Плотная масса, легко ломается и не мажется
Цвет	Кремовый, равномерный, без пятен	Равномерный, без пятен, светлый, допускается сероватый, кремоватый или желтоватый оттенок
Вкус	Свойственный дрожжам, без постороннего привкуса	Пресный, свойственный дрожжам, без постороннего привкуса
Запах	Свойственный дрожжам, без постороннего запаха	Свойственный дрожжам
Физико-химические показатели		
Массовая доля сухого вещества, %	29	Не менее 27
Подъемная сила дрожжей, мин	13	Не более 50
Кислотность дрожжей на 30-е сутки хранения при температуре от 0 до 4 °С в пересчете на уксусную кислоту, мг на 100 г дрожжей	302	Не более 320

В качестве **биостимуляторов** использовали:

- 1 %-й водный раствор БАД «Фуколам-С-сырье»;
- 1 %-й водный раствор микроструктурированного БАД «Фуколам-С-сырье» (НУЗВ мощностью 630 Вт/л, время экспозиции – 30 мин).

Активацию дрожжей проводили следующим способом: готовили питательную среду из биостимуляторов, затем дрожжевую культуру выдерживали в питательной среде с гидромодулем 1:10 при температуре 30 °С в течение 15 мин.

Образец 1 (контроль) – активированная дрожжевая суспензия без присутствия биостимулятора.

Образец 2 – активированная дрожжевая суспензия в присутствии 1%-го водного раствора БАД «Фуколам-С-сырье».

Образец 3 – активированная дрожжевая суспензия в присутствии 1%-го водного раствора микроструктурированного БАД «Фуколам-С-сырье».

Исследование морфологических и физиологических характеристик дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* в присутствии биостимуляторов БАВ бурых водорослей

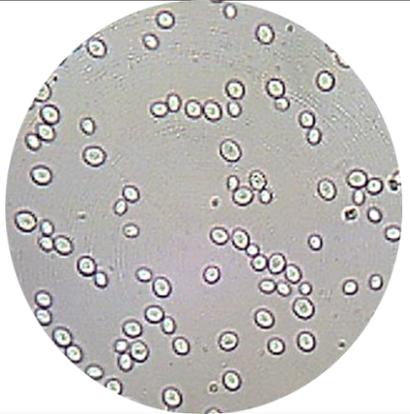
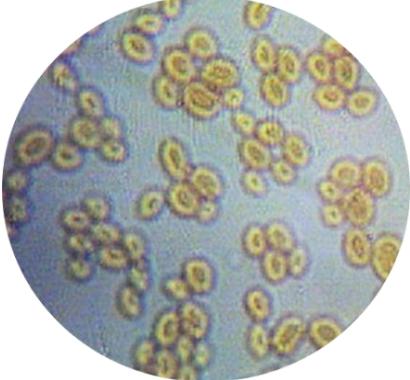
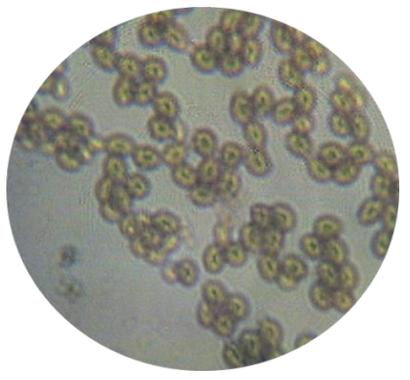
Клетки дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* в основном имеют овальную, округлую, яйцевидную или слегка удлинённую форму; в зависимости от возраста цитологические особенности дрожжевой клетки изменяются. Установлено, что молодые клетки дрожжей, характерные для 12–18-часовой культуры, при микроскопировании имеют тонкую прозрачную оболочку без видимых включений, цитоплазму и небольшую вакуоль. Молодые дрожжи интенсивно размножаются, при этом доля почкующихся клеток может достигать 70–80 % [98].

Зрелые дрожжевые клетки, которые визуализируются в 24–48-часовой культуре, имеют зернистую неоднородную цитоплазму. Количество клеток с вакуолями значительно увеличивается, но с течением времени процесс размножения дрожжей замедляется, а доля почкующихся клеток составляет в среднем 10–15 % [98].

Исследование активности дрожжевых клеток в присутствии биостимуляторов БАВ бурых водорослей проводили микроскопически (таблица 20), для этих целей готовили окрашенные фиксированные препараты активированных дрожжевых суспензий.

В поле зрения наблюдаются дрожжевые клетки овальной, округлой, удлинённой формы разных размеров; для образцов в присутствии биостимуляторов отмечается увеличение числа дрожжевых клеток и активизация физиологических процессов.

Таблица 20 – Результаты оценки физиологических характеристик дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в присутствии биостимуляторов БАВ бурых водорослей (увеличение $\times 1350$)

Образец 1 (контроль)	Образец 2 (в присутствии ПИ «Фуколам-С-сырье»)	Образец 3 (в присутствии ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»)
Определение включений гликогена в клетках дрожжей (окрашивание раствором Люголя)		
		
Количество дрожжевых клеток с включениями гликогена, %		
3–4	8–9	70–71
Определение включений зерен волютина (окрашивание по методу Нейссера)		
		
Количество дрожжевых клеток с зернами волютина, %		
Не установлены	11–12	96–97

Физиологическую активность дрожжевых клеток определяли по содержанию в них резервного полисахарида – гликогена и волютина, характерного для зрелых культур. Полученные данные явно указывают на то, что внесение биостимуляторов БАВ бурых водорослей благоприятствует течению физиологических процессов. В поле зрения наблюдаются почкующиеся клетки.

Причем при культивировании дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* в присутствии ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырьё» наблюдается более интенсивное накопление запасных веществ – гликогена и волютина (около 96–97 %). При культивировании дрожжей на питательных средах, в составе которых присутствуют гетерополисахарид фукоидан в микроструктурированном виде, количество клеток с гликогеном значительно увеличивается (около 70 %), что свидетельствует об «упитанности» и зрелости дрожжей.

Исследование влияния биостимуляторов БАВ бурых водорослей на технологические свойства хлебопекарных дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae*

Для исследования влияния биостимуляторов БАВ бурых водорослей на бродильную способность дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* оценивали их подъемную силу по скорости всплывания шарика теста (ускоренный метод) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54731-2011 «Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия» [19].

Для **контрольного образца** готовили шарик теста на водно-мучной смеси. **Опытные образцы** готовили на растворах биостимуляторов ПИ «Фуколам-С-сырьё» и ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырьё», которые добавляли в количестве 50 мг на 100 г муки (концентрация рассчитывалась исходя из рекомендаций разработчиков и из удовлетворения суточной потребности в фукоидане). Подъемную силу активированных дрожжей определяли через каждые 30 мин после замеса теста, результаты исследования представлены на рисунке 20.

Анализ результатов показал, что внесение биостимуляторов БАВ бурых водорослей как в исходной форме (ПИ «Фуколам-С-сырьё»), так и в микроструктурированной (ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырьё») позволяет сократить длительность активации прессованных дрожжей на 1,5 ч по отношению к контролю (длительность активации составляет 3 ч). При этом использование ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырьё» увеличивает подъемную силу дрожжей на 3,3 % в сравнении с контрольным образцом теста и на 1,9 % в сравнении с образцом теста, содержащего исходную форму биостимулятора.

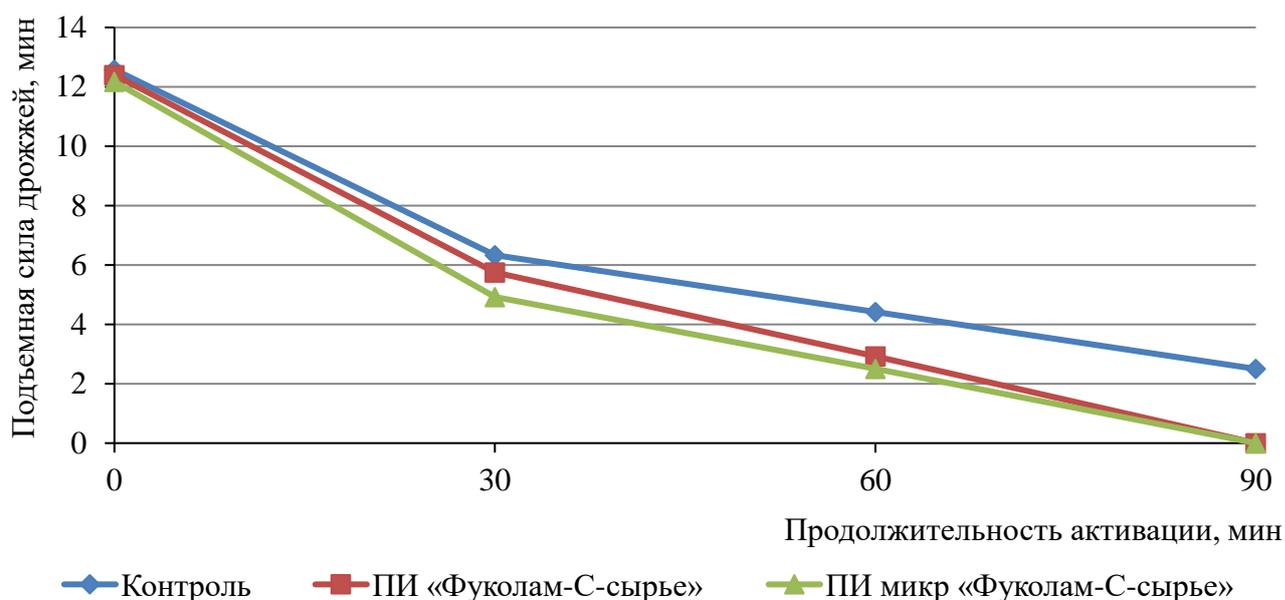


Рисунок 20 – Динамика изменения подъемной силы дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* при внесении биостимуляторов БАВ бурых водорослей, мин

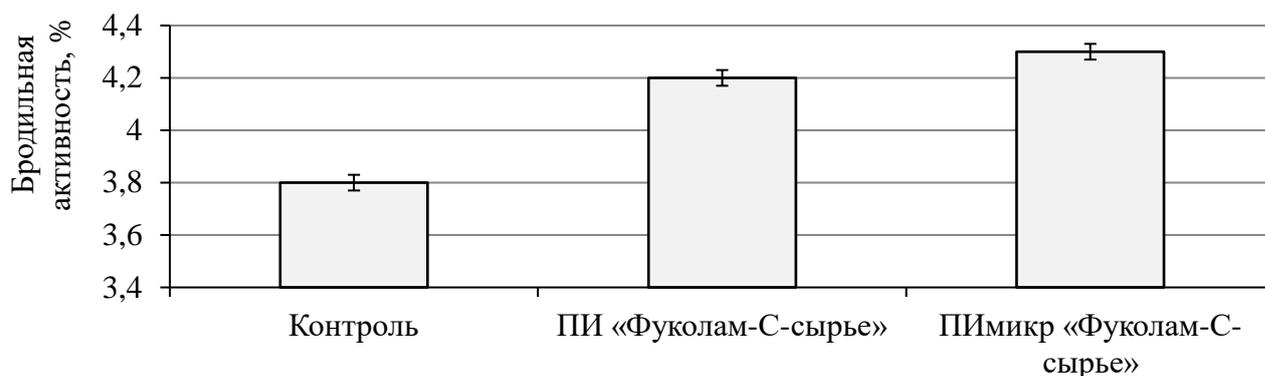
Другими важными показателями, характеризующими биотехнологические свойства дрожжей хлебопекарных, являются показатель бродильной активности и прирост сырой биомассы (рисунок 21).

Для исследования использовали питательную среду YP (16 % пептона, 16 % дрожжевого экстракта).

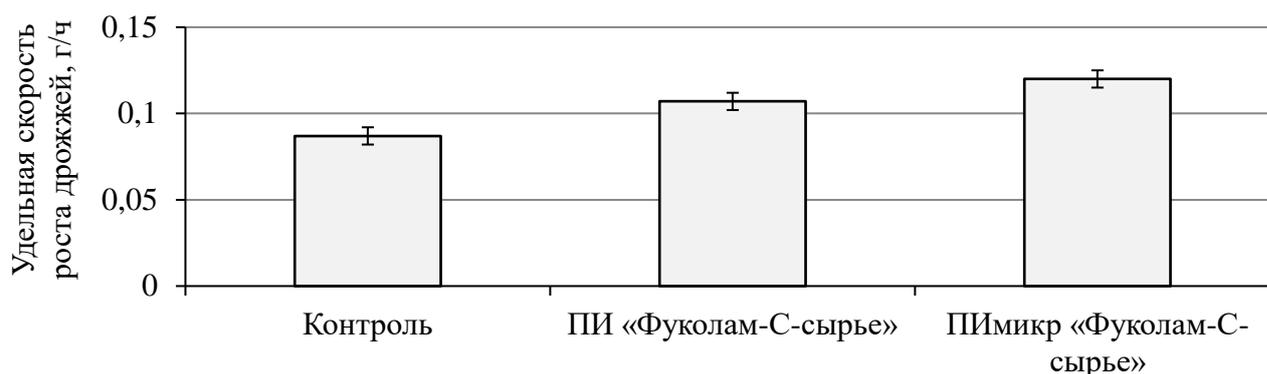
Регидратация дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* осуществлялась в гидромодуле 1:10 в течение 10 мин при разведении дрожжевой культуры:

- в дистиллированной воде температурой 30–40 °С;
- в 1 %-м водном растворе ПИ «Фуколам-С-сырье»;
- в 1 %-м растворе ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (НУЗВ мощностью 630 Вт/л, время экспозиции – 30 мин).

Бродильную активность дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* оценивали экспресс-методом по измерению количества выделившегося диоксида углерода в анаэробных условиях с помощью манометра Варбурга, в котором учитывалось количество углекислоты, выделенное дрожжами за 1 ч.



a



б

Рисунок 21 – Результаты оценки биотехнологических характеристик хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при их регидратации в среде разного состава:

а – бродильная активность исследуемых образцов дрожжей, %;

б – прирост биомассы исследуемых образцов дрожжей, г/ч

Прирост сырой биомассы дрожжей определяли весовым экспресс-методом в аэробных условиях по истечении 1 ч в условиях термостатирования при 30 °С с последующим центрифугированием дрожжевой суспензии.

Полученные результаты (рисунок 21а) доказывают, что исследуемые образцы дрожжевых суспензий в средах, имеющих разный состав, проявляют по накоплению диоксида углерода разный уровень бродильной активности. При регидратации дрожжей в присутствии ПИ «Фуколам-С-сырье» бродильная активность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* составила 4,2 %, в растворе ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» – 4,3 %, тогда как в дистиллированной воде – 3,8 %.

Определение прироста биомассы дрожжей (рисунок 21б) показало корреляцию с бродильной активностью. Так, добавление исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» увеличивает прирост биомассы дрожжей на 23 %, а микроструктурированного ПИ_{микро} «Фуколам-С-сырье» – на 38 %.

Полученные результаты в целом согласуются с оценкой физиологического состояния дрожжевых клеток вида *Saccharomyces cerevisiae* и показателем подъемной силы. В ходе исследования установлено, что в присутствии биостимуляторов БАВ бурых водорослей метаболические процессы в клетках дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* интенсифицируются, причем наиболее значимо при использовании НУЗВ для микроструктурирования БАВ бурых водорослей.

4.3.3 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на клейковинный комплекс муки пшеничной хлебопекарной

Известно, что технологические свойства муки пшеничной во многом зависят от содержания клейковины. Ее характеристики можно рассматривать как один из основных показателей силы муки, так как качество и количество клейковины оказывает сильное влияние на газодерживающую, формоудерживающую и водопоглотительную способность теста, от которых, в свою очередь, зависят такие показатели качества хлеба, как его объем, форма, внешний вид, структура мякиша.

Задача данной части исследования – определение влияния БАВ бурых водорослей, в том числе микроструктурированных, на свойства клейковинного комплекса муки пшеничной.

В качестве объекта исследования была определена мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, произведенная ООО «Объединение Союзпищепром» (п. Рощино, Челябинская область, Россия). Оценка качества муки осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия» [11]. Результаты оценки качества по органолептическим и физико-химическим показателям представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Результаты оценки качества исследуемого образца муки пшеничной хлебопекарной первого сорта

Наименование показателя	Характеристика, значение показателя	
	Фактические характеристики	Норма согласно ГОСТ Р 26574-2017
Вкус	Свойственный пшеничной муке, без посторонних привкусов, не кислый, не горький	Свойственный пшеничной муке, без посторонних привкусов, не кислый, не горький
Запах	Свойственный пшеничной муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый	Свойственный пшеничной муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый
Цвет	Белый с желтоватым оттенком	Белый или белый с желтоватым оттенком
Наличие минеральной примеси	Хруст не ощущается	При разжевывании муки не должно ощущаться хруста
Влажность, %	14,3 ± 0,2	Не более 15,00
Зольность в пересчете на сухое вещество, %	0,54 ± 0,1	Не более 0,75
Количество клейковины, %	36,02 ± 0,5	Не менее 30,00
Качество клейковины, ед. ИДК	75,4 (I – средняя, хорошая)	45–90

Полученные результаты свидетельствуют о хорошем качестве муки пшеничной хлебопекарной, полном соответствии требованиям ГОСТ Р 26574-2017. Вместе с тем весьма важно установить, как будет проявляться внесение БАВ бурых водорослей в исходном или микроструктурированном виде в системе клейковинного комплекса (контролируемые показатели количество и качество клейковины).

Образцы клейковины были получены по стандартной методике (путем отмывания) из теста, замешенного на питьевой воде (**контроль**), а также на растворах исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» и микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье», которые вносили в виде раствора из расчета 50 мг на 100 г муки (**опытные образцы**).

Из рисунка 22 видно, что использование ПИ «Фуколам-С-сырье» как в исходной, так и в микроструктурированной форме ведет к незначительному увеличению выхода сырой клейковины. Максимальное значение массовой доли

сырой клейковины при использовании исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» составляет 38,6 %, что больше массовой доли клейковины контрольного образца на 2,38–2,58 %.

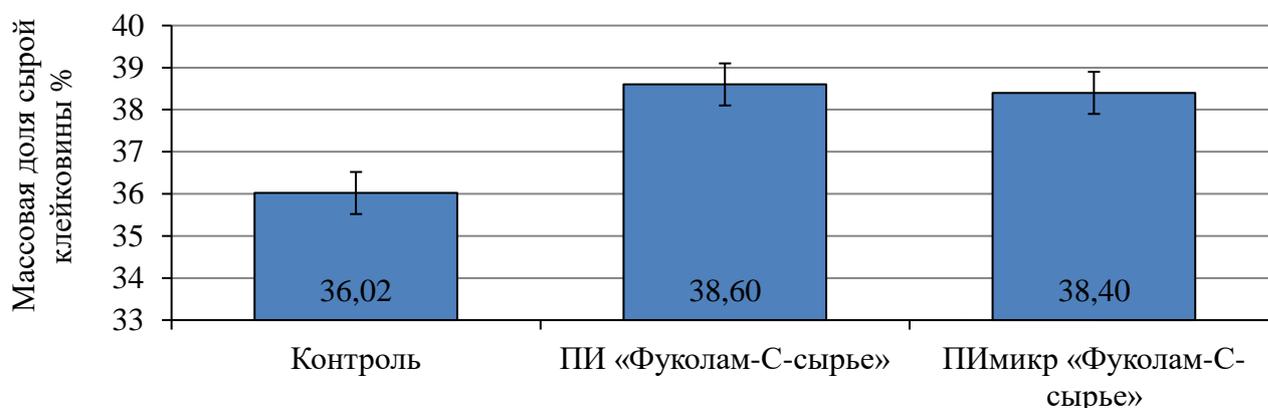


Рисунок 22 – Результаты определения массовой доли сырой клейковины (%) в пшеничной муке первого сорта до (контроль) и после внесения ПИ «Фуколам-С-сырье»

Результаты определения физических свойств сырой клейковины пшеничной муки первого сорта (контроль), а также при внесении исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» и микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Результаты оценки качества сырой клейковины пшеничной муки первого сорта до и после внесения ПИ «Фуколам-С-сырье»

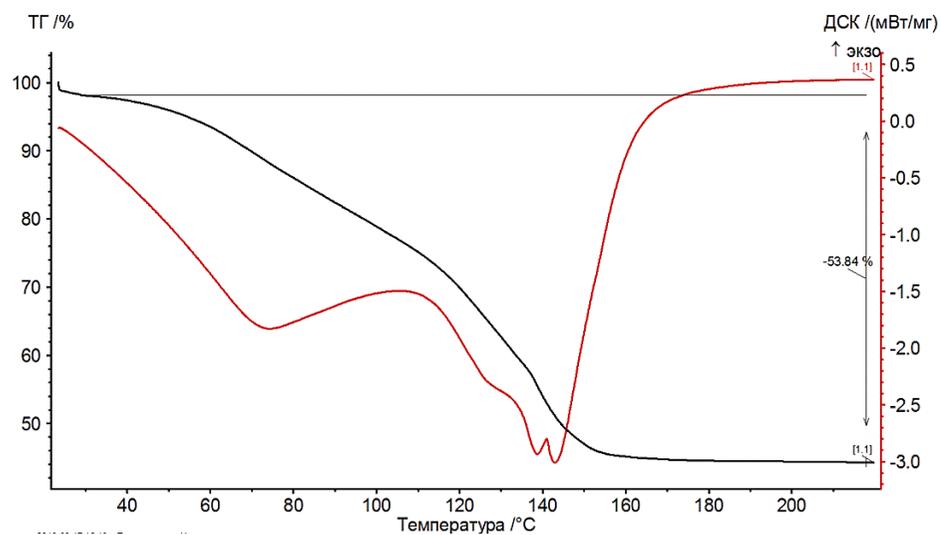
Показатель	Характеристика/значение показателя		
	Контроль	С добавлением ПИ «Фуколам-С-сырье»	С добавлением ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»
Качество клейковины, ед. ИДК	73,4 ± 0,5	76,5 ± 0,5	76,8 ± 0,5
Группа качества	I – средняя, хорошая	I – средняя, хорошая	I – средняя, хорошая
Растяжимость, см	13,7	14,2	15,0
Эластичность	Хорошая	Хорошая	Хорошая

Внесение БАВ бурых водорослей оказывает незначительное расслабляющее действие на клейковину пшеничной муки, в среднем увеличение ИДК составляет 4,4 %. При этом группа качества опытных образцов клейковины остается в градации I – средняя, хорошая. Поэтому использование БАВ бурых водорослей предпочтительно рекомендовать для муки с крепкой клейковиной.

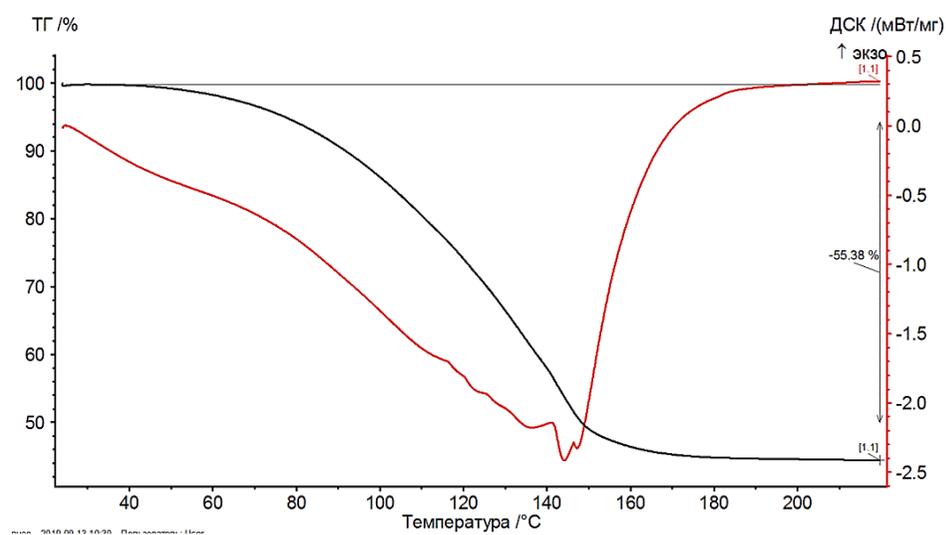
Согласно Typical Food Grade Specifications of Fucoidan (GRAS Notice (GRN) No. 661), водоросли-сырье для БАД «Фуколам-С-сырье» содержат от 4,0 до 7,0 % водорастворимых белков. Также известно, что существует группа веществ, не влияющих на реологические свойства изолированной клейковины, но при этом повышающих эластичность и снижающих растяжимость теста. Гидроколлоиды бурых водорослей обладают высокой водоудерживающей способностью, поэтому их внесение способствует улучшению физических свойств теста.

Изменение соотношения свободной и связанной воды в клейковине муки влияет на реологические свойства мякиша хлеба, а при хранении оказывает влияние на состояние свежести. Поэтому для установления факторов, определяющих увеличение выхода сырой клейковины в исследуемых объектах (тестовых шариках), был проведен ДСК-анализ (рисунок 23), позволяющий установить соотношение форм связи воды [46].

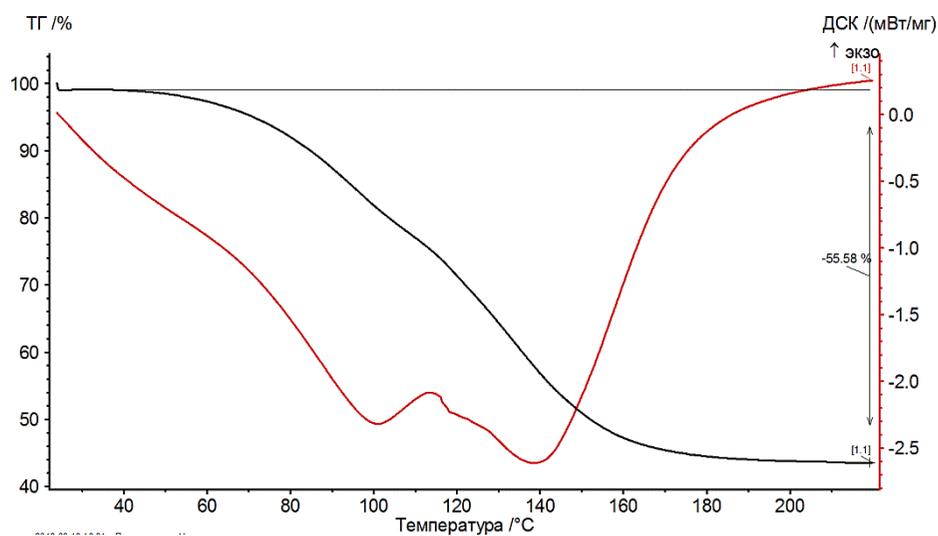
На рисунке 23 представлены кривые изменения массы (ТГ) исследуемых образцов клейковины и энтальпии (ДСК), характеризующие тепловые эффекты химического воздействия и физических превращений. Все полученные кривые носили аналогичный характер, но различались величиной температурных зон, соответствующих испарению влаги с различной энергией связи. Качественная оценка кривых указывает на то, что количественное соотношение влаги различных форм связи в исследуемых образцах клейковины, отмытой из тестовых шариков, при внесении БАВ бурых водорослей (как в исходной, так и в микроструктурированной форме) имеет отличия, что в первую очередь относится к свободной, осмотически, физико-механически и адсорбционно связанной влаге.



a



б



в

Рисунок 23 – Кривые изменения массы (ТГ) исследуемых образцов клейковины и энтальпии (ДСК):

a – контрольного образца; *б* – с ПИ «Фуколам-С-сырье»; *в* – с микроструктурированным ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье»

Чтобы получить зависимость степени изменения массы материала (степени превращения) от температуры, используется часть кривой изменения массы ТГ, соответствующая процессу дегидратации. Кривые изотермы имели S-образный вид, отражающий нелинейный характер взаимодействия влаги и сухих веществ в материале, что предполагает наличие на полученной кривой разных участков с различными скоростями дегидратации.

В контрольном образце клейковины по сравнению с опытными образцами преобладает полиадсорбционно, осмотически и физико-механически связанная влага. При этом в большом количестве содержится свободная вода (в 2,2–3,9 раза больше, чем в опытных образцах). В отличие от опытных образцов, в контрольном образце клейковины достаточно быстро начинает происходить возгонка (удаление) свободной воды.

Белковые вещества связывают влагу преимущественно осмотически, при этом они обладают способностью в процессе тестоприготовления поглотить до 200 % воды к своей массе. Белковые вещества при этом набухают, увеличиваясь в объеме [47; 111]. Использование БАВ бурых водорослей оказало влияние на количество осмотически связанной влаги: так, при использовании исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» ее количество увеличилось на 70 %, а ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» – на 18 %.

До настоящего времени некрахмальным полисахаридам не придавалось существенного значения. Однако, как показано недавними исследованиями, они способны повышать водопоглотительную способность муки и выход хлеба. Полисахариды связывают воду быстрее, чем белок, и в основном адсорбционно, а также микрокапиллярами. Они поглощают воду и внутримицеллярно, при этом осмотическое связывание влаги невелико [112].

Прирост полиадсорбционной влаги в образцах клейковины с БАВ бурых водорослей может быть обусловлен увеличением общей водопоглотительной способности полисахаридов добавки, в результате чего гидратация растворимых фукоидана и альгината натрия, на 3/4 поглощающих воду адсорбционно, прошла более глубоко. Количество полиадсорбционно связанной влаги увеличивается на

12 % для образца, полученного с использованием исходного ПИ «Фуколам-С-сырье», и на 6 % для образца, полученного с использованием ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье». Количество адсорбционной влаги мономолекулярных слоев снизилось в 2 раза в образце клейковины с добавлением исходного ПИ «Фуколам-С-сырье».

За счет более быстрого проникновения воды в структуру белка и полисахаридов частично снизилось количество физико-механически связанной влаги в экспериментальных образцах (на 79 % при использовании исходной формы и на 13 % при использовании микроструктурированной формы).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что увеличение общего выхода сырой клейковины связано с тем, что полисахариды быстро связывают влагу (в основном адсорбционно) и встраиваются в белковую матрицу теста, задерживаясь в ее каркасе.

4.3.4 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на процессы тестоведения в технологии хлебобулочных изделий

Для установления влияния БАВ бурых водорослей на процесс тестоведения как один их наиболее важных этапов получения пищевой системы готового продукта в рамках данной части работы были изучены физические и биохимические процессы, протекающие в тесте во время его созревания, для чего готовили тесто (применяли безопасный способ).

В качестве **контрольного образца** выступал образец теста из пшеничной муки первого сорта, приготовленный по стандартной рецептуре и технологии, рекомендованной для хлеба белого из муки высшего, первого и второго сортов в соответствии со «Сборником рецептов на хлебобулочные изделия, вырабатываемые по государственным стандартам» [3; 96].

При приготовлении **опытных образцов** теста из пшеничной муки первого сорта на этапе замешивания вносили растворы исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» и микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (НУЗВ

мощностью 630 Вт/л, время экспозиции – 30 мин). При формировании рецептур учитывалось, что рекомендуемая доза фукоидана для человека составляет 100 мг в сутки при суточной норме потребления хлеба 175 г [42; 45; 90].

Рецептуры исследуемых образцов теста представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Рецептуры для теста из пшеничной муки первого сорта контрольного и опытных образцов

Сырьевой компонент	Расход сырья, г		
	Контроль	Образец с добавлением ПИ «Фуколам-С-сырье»	Образец с добавлением ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»
Мука пшеничная первого сорта	1000,0	1000,0	1000,0
ПИ «Фуколам-С-сырье»	–	0,5	–
ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»	–	–	0,5
Соль пищевая	13,0	13,0	13,0
Дрожжи прессованные	15,0	15,0	15,0
Вода	По расчету $W_{хл} = (36,8 \pm 1,0) \%$		

Технологическая эффективность брожения (ТЭБ) определяется двумя характеристиками: количеством углекислого газа, образующегося в процессе спиртового брожения, и изменением объема теста. Данный показатель характеризует степень использования углекислого газа для разрыхления теста и формирования его пористой структуры хлебного мякиша.

В ходе исследований установлено, что внесение БАВ бурых водорослей как в исходной, так и в микроструктурированной форме способствует увеличению газоудерживающей способности теста и, соответственно, технологической эффективности брожения. При этом объем теста, обогащенного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье», через 180 мин с начала брожения был выше в сравнении с тестом, обогащенным ПИ «Фуколам-С-сырье» на 6 %; в сравнении с контролем – на 17 %.

Результаты определения ТЭБ теста представлены на рисунке 24.

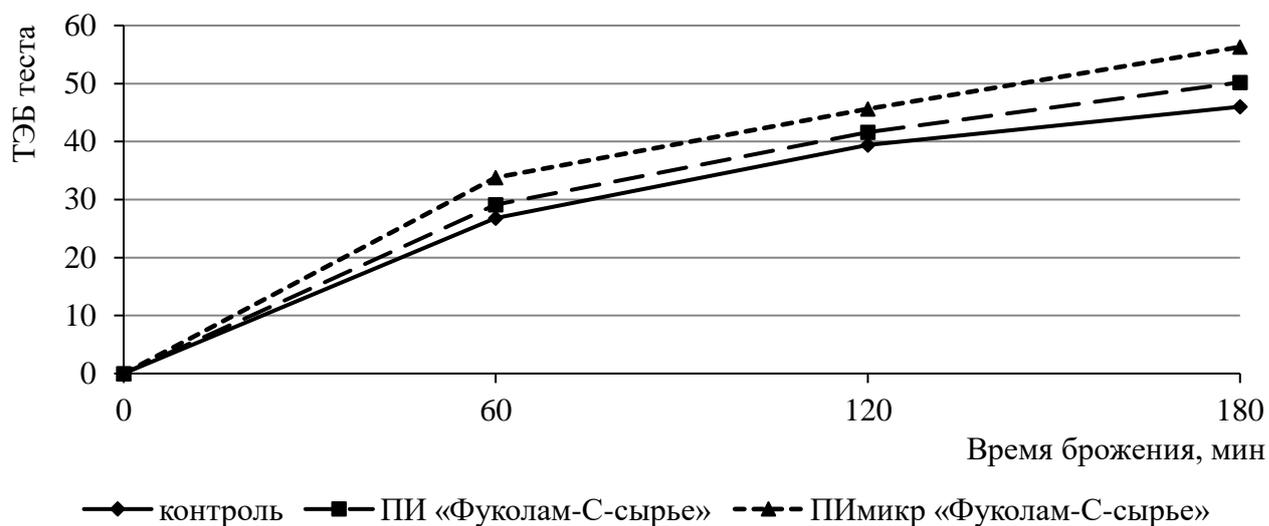


Рисунок 24 – Результаты определения ТЭБ в исследуемых образцах пшеничного теста, %

Увеличение ТЭБ теста в образцах с использованием БАВ бурых водорослей в рецептуре объясняется, с одной стороны, положительным влиянием углеводных компонентов (маннозы и галактозы) на рост и развитие культуры дрожжей и связано с интенсивным выделением углекислоты в результате активации процесса спиртового брожения. При этом фукоза как основной мономер фукоидана относится к дезоксигексозам и не подвергается спиртовому брожению под действием ферментов дрожжевых клеток.

С другой стороны, внесение БАВ бурых водорослей оказывало незначительное расслабляющее действие на клейковину пшеничной муки и увеличивало ее растяжимость, а значит, приводило к более быстрому поднятию теста. Кроме того, некрахмальные полисахариды (фукоидан и альгинат натрия) способны повышать водопоглощительную способность теста, а значит, и его газодерживающую способность.

В процессе брожения теста исследована динамика накопления кислот. Результаты определения титруемой кислотности исследуемых образцов теста представлены на рисунке 25.

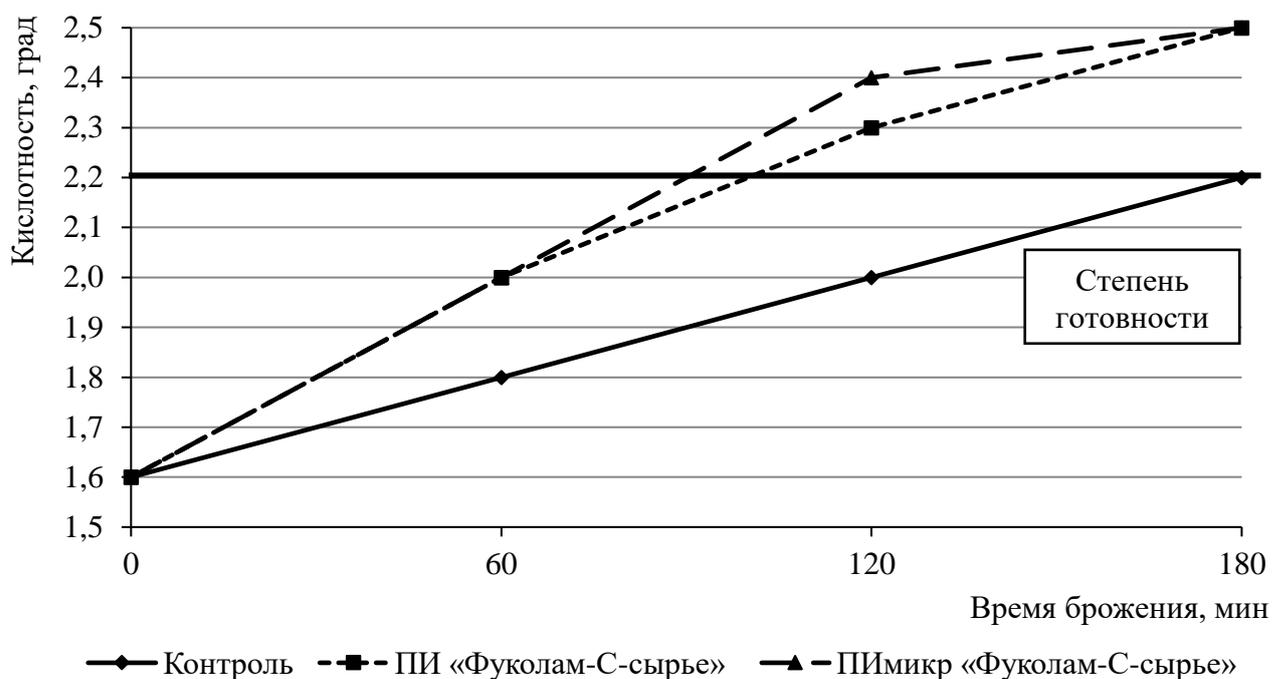


Рисунок 25 – Результаты определения интенсивности кислотонакопления в исследуемых образцах теста при брожении, град

Из рисунка 25 видно, что образцы теста, обогащенного БАВ бурых водорослей (до и после микроструктурирования), достигают кислотности 2,2 град (максимальной для контроля) на 100 мин раньше для ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» и на 60 мин – для ПИ «Фуколам-С-сырье», следовательно, процесс брожения протекает интенсивнее. При этом значения укладываются в норму от 2,0 до 4,0 град. Наличие питательной среды в виде углеводов способствует нарастанию скорости спиртового брожения и образованию в тесте молочной, уксусной, муравьиной кислот, что в дальнейшем может обусловить более выраженный вкус у выпеченных хлебобулочных изделий.

Определение суммарной АОА в пшеничном тесте, обогащенном ПИ «Фуколам-С-сырье» и ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье», осуществляли методом кулонометрического электрохимического титрования. Экстрагирование антиоксидантов осуществляли дистиллированной водой в течение 15 мин с последующим центрифугированием в течение 10 мин при 8000 об/мин. Результаты определения суммарной АОА теста представлены на рисунке 26.

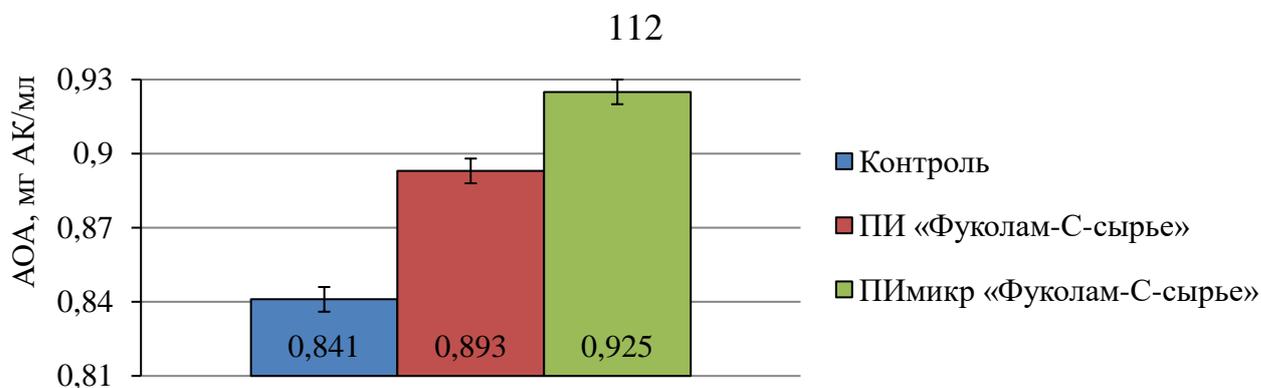


Рисунок 26 – Результаты определения суммарной АОА в исследуемых образцах теста, мг АК/мл

Использование БАВ бурых водорослей в рецептуре пшеничного теста привело к увеличению суммарного количества антиоксидантов. АОА образца теста, обогащенного ПИ «Фуколам-С-сырье», выше контроля на 6,2 %, а обогащенного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» – на 10,0 %. Это связано с тем, что полисахариды бурых водорослей сами способны проявлять АОА, что описано в п. 4.2. При этом важно учитывать влияние разрушающего температурного фактора при выпечке. В связи с этим важно определить суммарную АОА изделий хлебобулочных после выпечки.

По реологическим свойствам тесто из пшеничной муки занимает промежуточное положение между идеально упругим телом и истинно вязкой жидкостью. Рациональным методом характеристики таких систем является определение их деформационных свойств [26; 111]. Практический интерес представляет изучение влияния БАВ бурых водорослей на реологические характеристики теста (общая, пластическая и упругая деформация).

Упругие и пластические деформации пшеничного теста для хлеба исследовали на приборе «Структурометр СТ-2» и анализировали путем математической обработки экспоненциальной кривой релаксации механических напряжений, возникающих на полусферическом инденторе при внедрении в тесто.

Исследование реологических характеристик теста вели сразу после окончания процесса брожения через 2 ч ($t_{\text{брожения}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Измерение проводили до и после обминки теста. Сводные результаты по реологическим характеристикам образцов теста представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Усредненные результаты определения реологических характеристик исследуемых образцов теста, мм

Образец теста	Общая деформация $h_{\text{общ}}$	Пластическая деформация $h_{\text{пл}}$	Упругая деформация $h_{\text{упр}}$
До обминки			
Контроль	59,920	58,625	1,295
С добавлением ПИ «Фуколам-С-сырье»	59,967	58,695	1,272
С добавлением ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»	57,674	56,168	1,506
После обминки			
Контроль	30,833	26,778	4,055
С добавлением ПИ «Фуколам-С-сырье»	33,883	29,570	4,313
С добавлением ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»	36,418	32,737	3,681

Кривые релаксации механических напряжений исследуемых образцов теста представлены на рисунках 27 и 28.

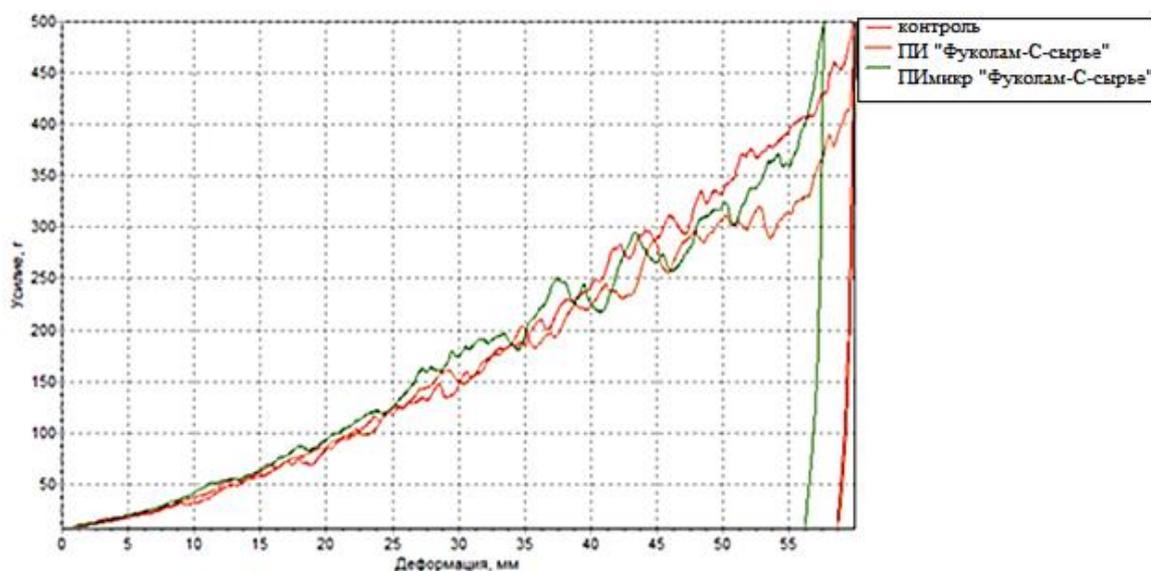


Рисунок 27 – Характерный вид кривых релаксации механических напряжений исследуемых образцов теста до обминки

До обминки тесто имеет минимальные значения упругой деформации, что обусловлено диоксидом углерода, накопившимся в нем в процессе брожения. Кривые релаксации до обминки носят экспоненциальный скачкообразный характер. При этом не наблюдается резких скачков, что доказывает равномерное распределение мелких пузырьков газа в матрице теста.

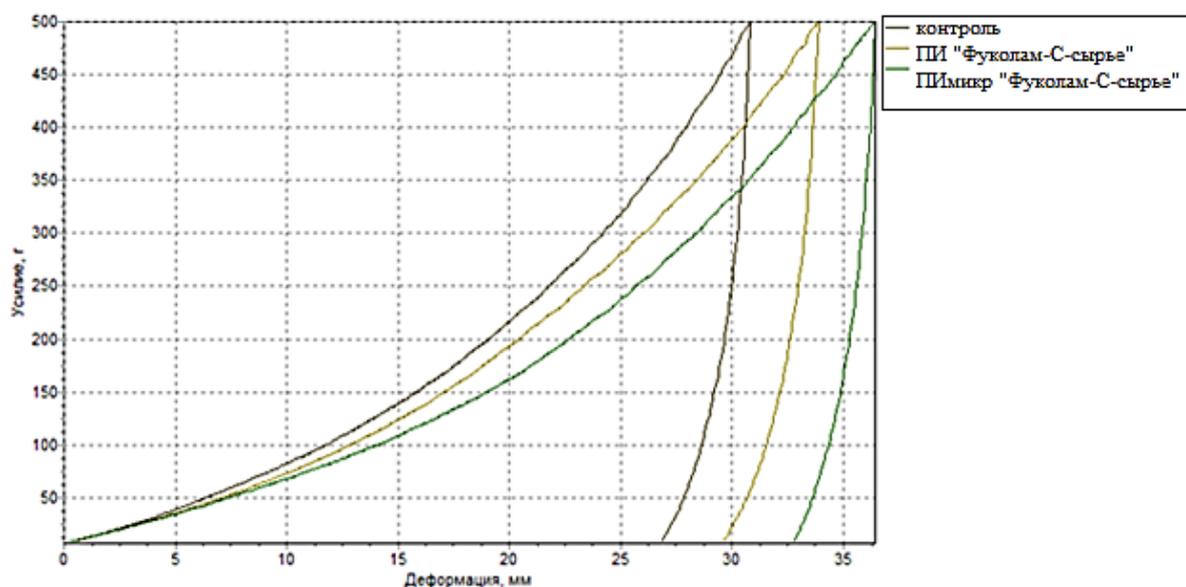


Рисунок 28 – Характерный вид кривых релаксации механических напряжений исследуемых образцов теста после обминки

Внесение ПИ «Фуколам-С-сыр» в исходной и микроструктурированной форме оказало незначительное расслабляющее действие на клейковину пшеничной муки и увеличило ее растяжимость, клейковина вытягивалась в гифы, повышая газодерживающую способность теста. Измерение реологических характеристик до обминки позволяет объяснить увеличение ТЭБ, но не показывает адекватной зависимости значений пластической и упругой деформации теста от вносимых компонентов.

После обминки увеличение упругой деформации теста связано с отсутствием высвободившегося диоксида углерода. Полученные реологические характеристики свидетельствуют, что внесение в рецептуру БАВ бурых водорослей делает тесто более пластичным. При этом значение общей деформации теста $h_{\text{общ}}$ в присутствии ПИ «Фуколам-С-сыр» увеличилось в среднем на 9,9 %, ПИ_{микр} «Фуколам-С-сыр» – в среднем на 18,1 %.

Увеличение пластических и снижение упругих деформаций теста имеет положительное технологическое значение, поскольку при этом улучшаются показатели газообразующей и газодерживающей способности, как следствие, в хлебе после выпечки формируется мякиш с равномерной тонкостенной пористостью. Уменьшение упругих деформаций теста способствует тому, что тестовые заготовки при выпечке лучше сохраняют заданную форму.

Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

– структурные параметры БАВ бурых водорослей (неоднородность состава, неравномерность дисперсии частиц, плохая растворимость) являются ограничительным фактором для проявления биологической активности в пищевой системе;

– применение НУЗВ для регулирования структурных характеристик и биоактивности БАВ бурых водорослей является целесообразным (рациональный режим НУЗВ: мощность – 630 Вт/л, время экспозиции – 30 мин) и позволяет сократить размеры частиц полисахаридного комплекса в среднем в 30–40 раз, увеличить суммарную АОА в среднем на 23 %. Также наблюдается прирост биомассы *Paramecium caudatum* на 7,9–19,1 %;

– внесение ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» оказывает положительное влияние на биотехнологические свойства и активность хлебопекарных дрожжей, что способствует интенсификации процесса созревания теста и повышению ТЭБ. При этом основной мономер фукоидана – фукоза – не подвергается спиртовому брожению под действием ферментов дрожжевых клеток;

– использование ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» оказывает незначительное расслабляющее действие на клейковину пшеничной муки, однако гидроколлоиды водорослей связывают воду быстрее, чем белок, и в основном адсорбционно, а также микрокапиллярами или внутримицеллярно. При этом повышается водопоглотительная способность муки и ее газодерживающая способность.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования микроструктурированных БАВ бурых водорослей в технологии хлебопечения. Однако следует учесть, что в формировании качества готового продукта важную роль играют процессы, протекающие при расстойке и выпечке хлебобулочных изделий. По этой причине дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния микроструктурированных БАВ бурых водорослей на качество готовых продуктов.

ГЛАВА 5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ХЛЕБА ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ, ОБОГАЩЕННОГО МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

5.1 Разработка рецептуры и технологических режимов производства хлеба из пшеничной муки, обогащенного микроструктурированными биологически активными веществами бурых водорослей

Использование предложенного подхода для модификации БАВ бурых водорослей и получения их микроструктурированных форм с целью минимизации ограничивающих факторов применения данного ПИ для последующего встраивания в пищевую систему изделий хлебобулочных позволит получить продукт с профилактическими свойствами в отношении НИЗ, вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом, а также оксидативного стресса как триггера НИЗ.

Качество изделий хлебобулочных в совокупности характеристик является первостепенным фактором, влияющим на выбор потребителей. Разрабатывая новый продукт, важно не только повысить его пищевые достоинства, но и четко отслеживать органолептические и физико-химические показатели качества готовых изделий.

Для проведения исследований в лабораторных условиях были разработаны рецептуры и проведена пробная выпечка контрольных и опытных образцов формового хлеба из пшеничной муки первого сорта.

При формировании опытных рецептур хлеба учитывалось, что рекомендуемая дозировка фукоидана для человека составляет 100 мг в сутки [97] при суточной норме потребления хлеба 175 г. С учетом рациональных норм потребления изделий хлебобулочных были определены следующие нормы внесения данного ингредиента: 0,03; 0,05; 0,10 % от массы муки (таблица 25).

Таблица 25 – Рецептúra хлеба из пшеничной муки первого сорта контрольных и опытных образцов, г

Ингредиенты	Расход сырья, г			
	Контрольный образец хлеба	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Мука пшеничная первого сорта	1000	1000	1000	1000
ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»	–	0,3	0,5	1,0
Соль пищевая	13	13	13	13
Дрожжи прессованные	15	15	15	15
Вода	По расчету $W_{\text{хл}} = (36,8 \pm 1,0) \%$			

С учетом проведенных ранее исследований в части технологической эффективности брожения теста и нарастающей кислотности во время брожения были определены следующие технологические параметры, представленные в таблице 26.

Таблица 26 – Параметры основных технологических этапов производства контрольных и опытных образцов хлеба

Наименование операции	Характеристика режимов	
	Контрольный образец хлеба	Опытные образцы хлеба
1. НУЗВ ПИ «Фуколам-С-сырье» (мощность 630 Вт/л, экспозиция 30 мин)	–	+
2. Приготовление солевого раствора, фильтрация	+	+
3. Приготовление суспензии дрожжей в воде	+	+
4. Замес теста: Продолжительность, мин Температура, °С Скорость, об/мин	15 30 120–170	15 30 120–170
5. Брожение: Продолжительность, мин Температура, °С Обминка через 60 мин	180 30 ± 2 2 раза 5 мин	120 30 ± 2 1 раз 5 мин
6. Формование: Масса тестовой заготовки, г	550	550
7. Расстойка: Продолжительность, мин Температура, °С	70 37 ± 2	60 37 ± 2
8. Выпечка: Продолжительность, мин Температура, °С	40 220–230	40 220–230

Отличия в схеме производства опытных образцов заключаются во времени брожения теста, которое на 60 мин меньше, чем для контрольного образца (120 и 180 мин соответственно), и времени расстойки – у опытных образцов на 10 мин меньше, чем у контрольного (60 и 70 мин). Таким образом, технологический процесс сокращается на 70 мин, при этом соответственно увеличиваются объемы производства хлеба и снижаются энергозатраты.

5.2 Комплексная товароведная оценка качества хлеба из пшеничной муки, обогащенного микроструктурированными биологически активными веществами бурых водорослей

5.2.1 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на органолептические показатели хлеба

Органолептические свойства оказывают решающее значение при выборе продукта покупателем в торговой сети. Динамика их изменения и способность сохранять первоначальные характеристики в заданном промежутке времени является приоритетом при повторном их приобретении и играет важную роль для закрепления нового продукта на потребительском рынке.

Результаты органолептической оценки контрольных и опытных образцов хлеба из пшеничной муки первого сорта, представленные в таблице 27, свидетельствуют о том, что все исследуемые образцы соответствуют требованиям ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия» [20]. При этом имеются незначительные различия между контрольным и опытными образцами хлеба.

Образцы с добавлением ПИ_{микро} «Фуколам-С-сырье» можно охарактеризовать как изделия с увеличенным объемом, правильной формы, с несколько выпуклой коркой. Достаточно равномерная тонкостенная пористость с порами округлой формы повышает потребительские достоинства исследуемых образцов; мягкий, эластичный и хорошо разжевываемый мякиш делает образец еще привлекательнее. Значительных изменений вкуса, запаха и цвета мякиша изделий не отмечено.

Таблица 27 – Органолептическая оценка контрольных и опытных образцов хлеба из пшеничной муки первого сорта согласно ГОСТ 58233-2018

Наименование показателя	Контрольный образец хлеба	Опытные образцы хлеба		
		Образец 1	Образец 2	Образец 3
Внешний вид	Правильная форма, гладкая поверхность корки, окраска корки равномерная коричневого цвета	Правильная форма повышенного объема, гладкая поверхность корки, окраска корки равномерная коричневого цвета	Правильная форма повышенного объема, гладкая ровная поверхность корки, окраска корки равномерная коричневого цвета	Правильная форма повышенного объема, гладкая ровная поверхность корки, окраска корки равномерная коричневого цвета
				
Состояние мякиша	Равномерно белый, средней эластичности, со средней неравномерной толстостенной пористостью, не липкий, при разжевывании комкуется	Равномерно белый, средней эластичности, со средней равномерной тонкостенной пористостью, не липкий	Равномерно белый, средней эластичности, с мелкой равномерной тонкостенной пористостью, не липкий	Равномерно белый, хорошей эластичности, с мелкой равномерной тонкостенной пористостью, не липкий
Вкус	Свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних привкусов	Свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних привкусов	Свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних привкусов	Свойственный хлебобулочным изделиям, без посторонних привкусов
Запах	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, выраженный, без посторонних запахов	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, выраженный, без посторонних запахов	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, выраженный, без посторонних запахов	Свойственный хлебобулочным изделиям, приятный, выраженный, без посторонних запахов

Дегустационную оценку образцов хлеба проводили по пятибалльной шкале с использованием коэффициентов весомости для отдельных показателей качества. Результаты балльной органолептической оценки хлеба с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в сравнении с контрольным образцом представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Результаты дегустационной оценки качества хлеба с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в сравнении с контрольным образцом (усредненная оценка)

Наименование показателя	Оценка уровня качества образцов хлеба, балл			
	Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Внешний вид (Кв = 0,3)	4,5	4,7	5,0	4,9
R ⁿ ·Кв	1,35	1,41	1,50	1,47
Состояние мякиша (Кв = 0,2)	4,2	4,7	5,0	4,9
R ⁿ ·Кв	0,84	0,94	1,00	0,98
Вкус (Кв = 0,4)	4,7	4,8	5,0	4,9
R ⁿ ·Кв	1,88	1,92	2,00	1,96
Запах (Кв = 0,1)	5,0	5,0	5,0	5,0
R ⁿ ·Кв	0,50	0,50	0,50	0,50
Суммарный показатель	4,57	4,77	5,00	4,91
Категория качества	Хорошее	Отличное	Отличное	Отличное
Примечание – Кв – коэффициент весомости; R ⁿ – средние значения баллов.				

Из таблицы 28 видно, что все образцы хлеба из пшеничной муки первого сорта с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» по исследуемым показателям имели категорию качества «отличное», тогда как контрольный образец имел категорию качества «хорошее». При этом образец 2 с внесением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в количестве 0,05 % от массы муки показал наилучший усредненный результат – 5 баллов, что на 0,43 балла выше в сравнении со значениями контрольного образца.

Профилограммы результата дегустационной оценки контрольного и опытных образцов хлеба с добавлением микроструктурированных форм БАВ представлены на рисунке 29.

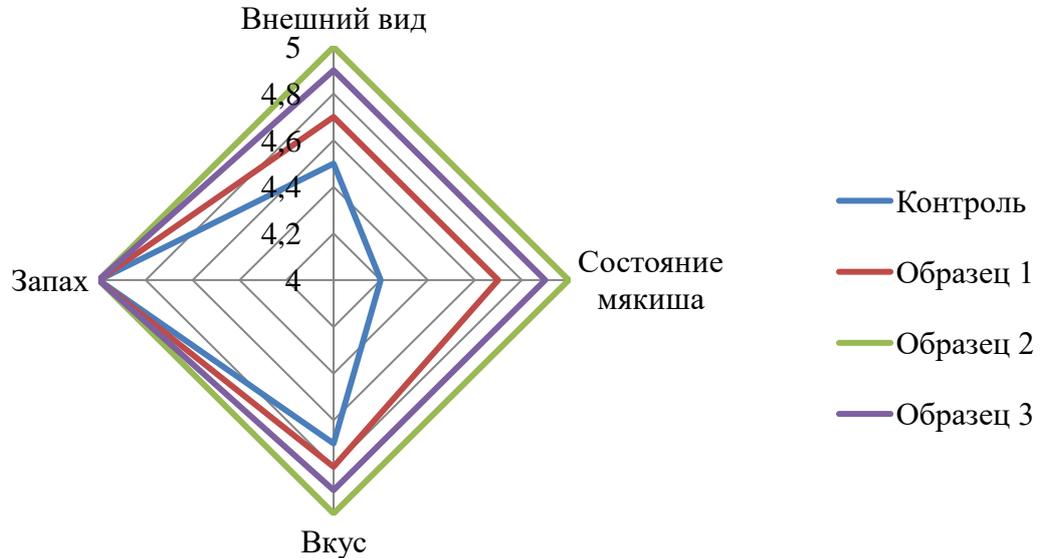


Рисунок 29 – Профилограммы результата дегустационной оценки контрольного и опытных образцов хлеба

Таким образом, внесение ПИ_{микро} «Фуколам-С-сырье» во всех концентрациях (от 0,03 до 0,10 % к массе муки) оказывает положительное действие на органолептические показатели хлеба: внешний вид, состояние мякиша, вкус.

5.2.2 Влияние микроструктурированных биологически активных веществ бурых водорослей на физико-химические показатели хлеба

В качестве приоритетных направлений для дальнейших исследований влияния микроструктурированного ПИ_{микро} «Фуколам-С-сырье» на свойства готовых изделий был выбран комплекс показателей, наиболее сильно влияющих на общую привлекательность продукта для потребителя: влажность, кислотность, пористость и крошковатость мякиша, коэффициент набухаемости, а также реологические характеристики мякиша хлеба.

Результаты физико-химической оценки контрольного и опытных образцов хлеба из пшеничной муки первого сорта представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Физико-химические показатели качества хлеба с добавлением микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» через 3 ч после выпечки

Показатель	Контрольный образец хлеба	Опытные образцы хлеба с содержанием ПИ _{микр} «Фуколам-С-сырье»		
		Образец 1	Образец 2	Образец 3
Влажность мякиша, %	39,9 ± 0,2	40,4 ± 0,2	41,6 ± 0,1	41,9 ± 0,1
Кислотность мякиша, %	2,4 ± 0,2	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2
Пористость мякиша, %	75,9 ± 0,1	81,6 ± 0,3	83,8 ± 0,3	79,7 ± 0,2
Крошковатость, %	5,6 ± 0,2	4,9 ± 0,1	3,9 ± 0,1	3,7 ± 0,1
Коэффициент набухаемости	6,8 ± 0,1	7,7 ± 0,1	7,9 ± 0,1	7,3 ± 0,2

Значения физико-химических показателей всех образцов хлеба соответствовали требованиям ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия» [20].

При этом было установлено, что после остывания хлеба до комнатной температуры (через 3 ч) исследуемые образцы имели практически одинаковые значения массовой доли влаги и кислотности, но отличались значениями пористости, набухаемости и крошковатости от контрольного образца.

Использование для производства хлеба микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» приводит к интенсификации тестоприготовления, более активному накоплению дрожжевых клеток, развитию белковой матрицы, что в конечном счете положительно сказывается на качестве готовых изделий.

Все опытные образцы хлеба с добавлением микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» имели повышенную пористость мякиша в сравнении с контрольным образцом. Значение показателя пористости образца хлеба с ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в дозировке 0,1 % от массы муки выше на 10,4 % в сравнении с контролем.

Влажность мякиша образцов хлеба с ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» несколько выше, чем у контрольного образца; с увеличением дозировки внесения ПИ_{микр} она возрастает (в пределах от 1,3 до 5 %). При этом значения влажности находятся в регламентируемых границах.

Одной из основных характеристик качества хлеба является структура его мякиша. При этом существует прямая зависимость между структурой мякиша, внешним видом и объемом готовых изделий [36; 201].

Рассмотрение под сканирующим электронным микроскопом межпоровых стенок мякиша (рисунок 30) показывает, что они состоят из сплошной массы коагулированного при выпечке белка (клейковины), внутрь которого вкраплены набухшие, частично клейстеризованные зерна крахмала.

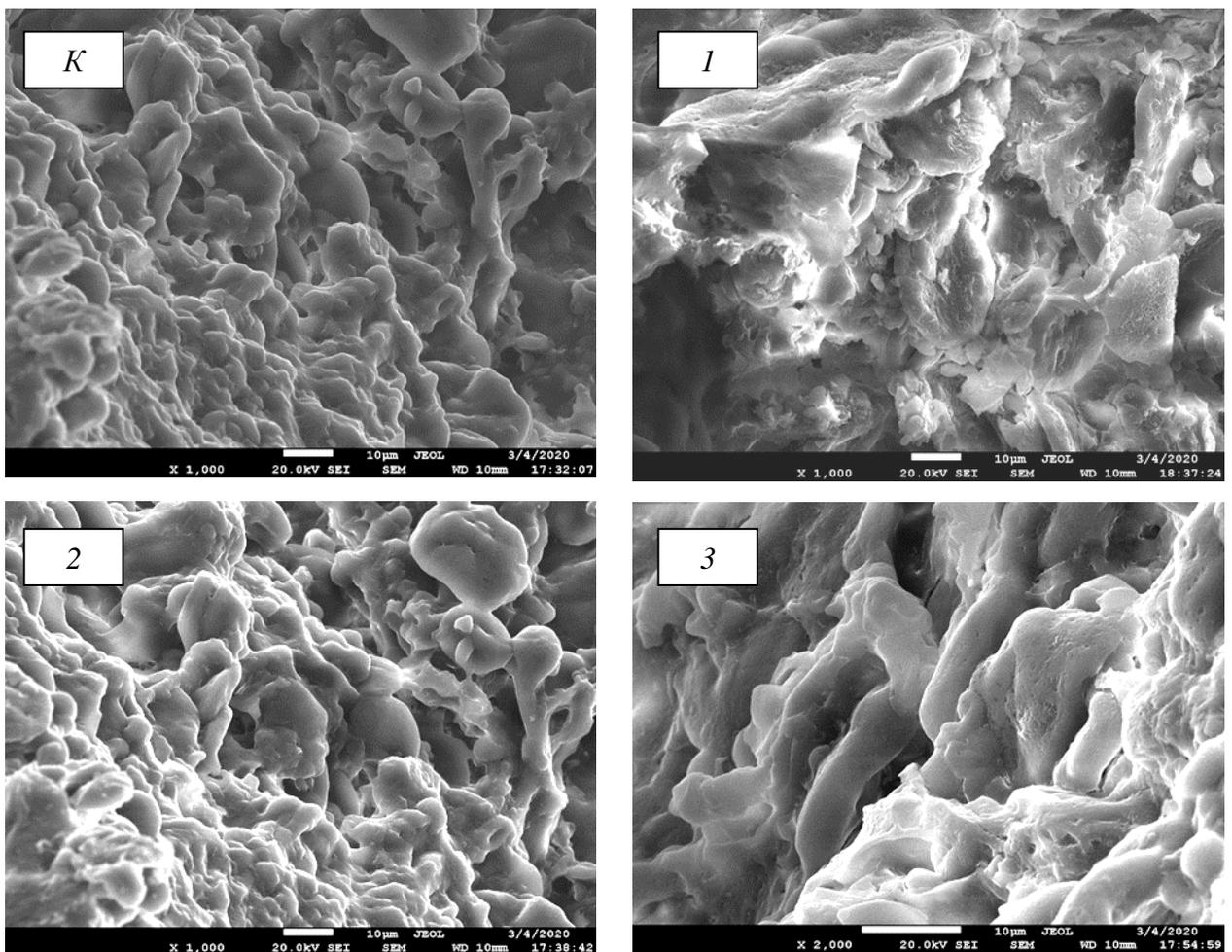


Рисунок 30 – Микроструктура мякиша хлеба при хранении 3 ч:

K – контрольный образец; *1* – образец 1; *2* – образец 2; *3* – образец 3

В микроструктуре мякиша контрольного образца хлеба можно отметить наличие одинакового количества крупных и мелких зерен крахмала, находящегося в виде зерен круглой или эллиптической формы. Отдельные зерна немного деформированы.

Для структуры мякиша опытных образцов хлеба с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» характерно наличие большого количества частиц овальной формы, которые по своим характеристикам соответствуют зернам крахмала. В стенках пор зерна крахмала несколько вытянуты, расположены параллельно их плоскости и со всех сторон окружены массой набухшего коагулированного белка. Белковая матрица хорошо развита.

Реологические характеристики мякиша позволяют наиболее полно охарактеризовать потребительские свойства разработанных образцов хлеба и спрогнозировать его привлекательность для конечного потребителя [111].

На рисунке 31 представлен характерный вид кривых релаксации. Усредненные результаты общей, пластической и упругой деформации контрольного и опытных образцов хлеба представлены в таблице 30.

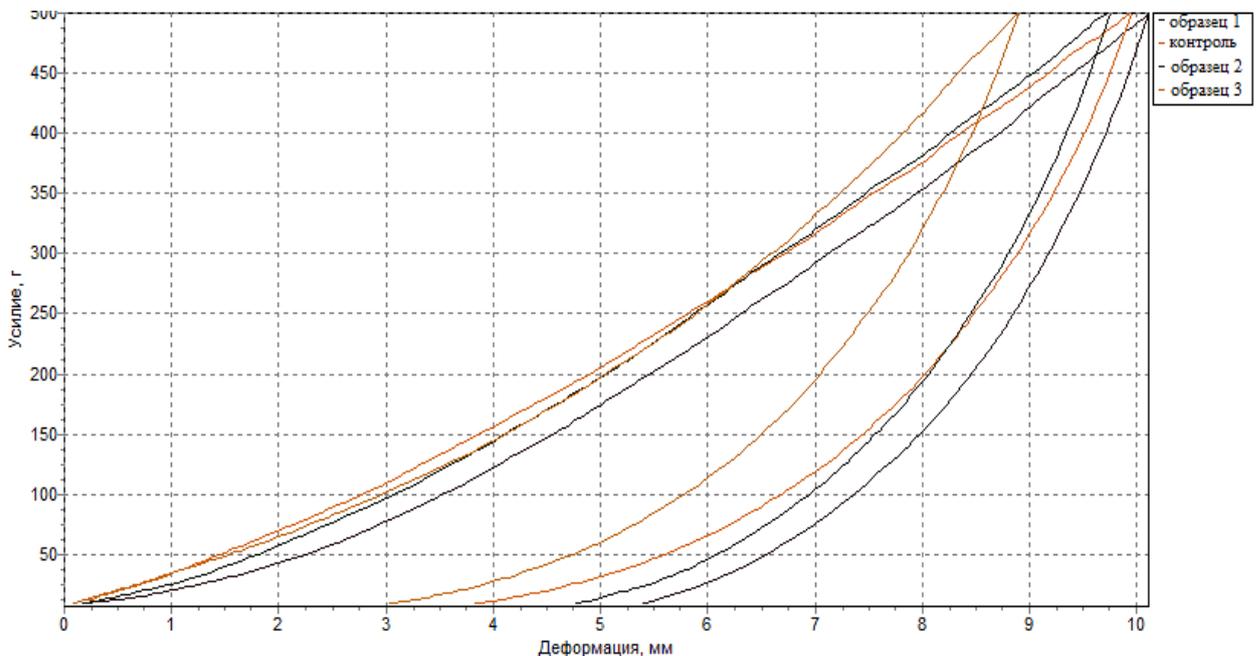


Рисунок 31 – Характерный вид экспоненциальных кривых релаксации механических напряжений контрольного и опытных образцов хлеба

Таблица 30 – Усредненные результаты определения реологических характеристик контрольного и опытных образцов хлеба (средние значения), мм

Образец хлеба	Общая деформация $h_{\text{общ}}$	Пластическая деформация $h_{\text{пл}}$	Упругая деформация $h_{\text{упр}}$
Контроль	8,873	3,213	5,660
Образец 1	9,614	3,767	5,847
Образец 2	10,154	4,249	5,905
Образец 3	9,967	4,103	5,864

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что внесение в рецептуру ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» повышает значения общей и пластической деформации мякиша хлеба в среднем на 14,4 и 32,2 % соответственно при пересчете на образец 2, тогда как значения упругой деформации контрольного и опытных образцов не имеют статистически значимых различий.

Для опытных образцов хлеба характерно наличие развитой тонкостенной пористости, обеспечивающей большее сжатие мякиша во время проведения эксперимента; данный факт подтверждается как результатами органолептической оценки, так и повышенными значениями показателя «пористость мякиша».

Ранее нашими исследованиями была выявлена динамика наращивания суммарной АОА в процессе микроструктурирования НУЗВ. Учитывая тот факт, что антиоксиданты, содержащиеся в ПИ «Фуколам-С-сырье», имеют водорастворимый характер, наиболее важно проследить сохранение данных свойств при их встраивании в пищевую систему продукта.

Суммарную АОА определяли в корке и мякише контрольных и опытных образцов хлеба. Экстрагирование антиоксидантов осуществляли дистиллированной водой в течение 30 мин с последующим центрифугированием в течение 10 мин при 8000 об/мин.

Результаты определения суммарной АОА контрольного и опытных образцов хлеба представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Результаты определения суммарной АОА контрольного и опытных образцов хлеба, мг АК/мл

Образец хлеба	Значение суммарной АОА	
	в корке	в мякише
Контроль	0,132 ± 0,05	0,312 ± 0,05
Образец 1	0,236 ± 0,05	0,462 ± 0,05
Образец 2	0,449 ± 0,05	0,782 ± 0,05
Образец 3	0,488 ± 0,05	0,893 ± 0,05

Использование в технологии хлеба микроструктурированных БАВ бурых водорослей привело к повышению его суммарной АОА закономерно с ростом концентрации ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» по сравнению с контрольным образцом. Так, значение АОА образца хлеба с содержанием ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в концентрации 0,05 % от массы муки выше, чем АОА контрольного образца, в 3,4 раза в корке и в 2,5 раза в мякише.

Значение суммарной АОА корок хлеба во всех исследуемых образцах было ниже по сравнению с мякишем. Это может быть связано с процессами полимеризации в корке, происходящими во время выпечки при температуре 220–230 °С.

Повышение пищевого статуса населения, проживающего в условиях экологической напряженности на территориях Уральского региона, путем направленного действия регулирования химического состава для обеспечения лечебно-профилактического действия в отношении НИЗ, в том числе йододефицита, является одной из приоритетных задач данного исследования. Ранее нашими экспериментальными результатами было установлено, что наиболее высокое количество йода содержится в образце ПИ «Фуколам-С-сырье», что стало определяющим фактором выбора данного пищевого ингредиента для внесения в пищевую систему образцов хлеба. Процесс микроструктурирования ПИ «Фуколам-С-сырье» с помощью НУЗВ не оказал негативного влияния на количественные показатели массовой доли йода в образце. При этом наибольший

интерес представляет количественное содержание данного микроэлемента в готовых изделиях.

Определение массовой доли йода в хлебе проводили согласно ГОСТ 25832-89 «Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия» [9] титриметрическим методом. В таблице 32 приведены данные о массовой доле йода в контрольном и опытных образцах хлеба.

Таблица 32 – Содержание йода в контрольном и опытных образцах хлеба

Образец хлеба	Массовая доля йода, мкг на 100 г хлеба	Удовлетворение рекомендуемой нормы потребления йода при норме потребления хлеба, %	Установленный уровень потребности в йоде, мкг/сут, согласно МР 2.3.2.2571-10 [45]
Контроль	–	0,0	150
Образец 1	$9 \pm 0,3$	6,0	
Образец 2	$9 \pm 0,3$	6,0	
Образец 3	$10 \pm 0,3$	6,7	

При разработке технологии опытных образцов хлеба особый интерес представляли фактические потери йода при выпечке. Результаты исследования показали, что потери йода при использовании ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в среднем составили от 49 до 50 %, что соответствует его количественным потерям при использовании в исходной форме.

Требуемое количество ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в готовом продукте должно составлять 57,1 мг/100 г. С учетом суточной нормы потребления изделий хлебобулочных (175 г) внесение ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в количестве 0,05 % от массы муки (образец 2) будет укладываться в диапазон от 26 до 30 мг/100 г и обеспечит не более 50 % от максимального значения рекомендуемой нормы потребления фукоидана – 100 мг/сут [97].

Учитывая, что в опытных образцах, содержащих ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в разной дозировке (0,03; 0,05; 0,1 % от массы муки), значительных изменений органолептических и физико-химических показателей выявлено не было, для последующего этапа исследований, направленного на исследование термостабильности фукоидана после выпечки хлеба и оценку его качества в

процессе хранения, был определен образец 2 (с внесением «Фуколам-С-сырье» в количестве 0,05 % от массы муки).

С учетом выбранной концентрации был разработан Стандарт организации на хлеб «Антистресс» СТО 02066724-020-2020, Рецепт и Технологическая инструкция (приложение А).

5.3 Исследование термостабильности фукоидана после выпечки хлеба

С учетом важности сохранения количества фукоидана и его свойств после выпечки была изучена его термостабильность с целью подтверждения эффективности действия пищевого ингредиента в составе хлеба.

Контрольные и опытные образцы для экспериментальных исследований были получены из пшеничной муки первого сорта по разработанной ранее рецептуре (таблица 25) с содержанием ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в количестве 0,05 % от массы муки и в соответствии с параметрами ведения основных технологических этапов производства (таблица 26).

В качестве контрольного образца использовалась тестовая заготовка хлеба «Антистресс» (после расстойки до процесса выпечки), а в качестве опытного образца – хлеб «Антистресс» после выпечки, выдержанный в течение 3 ч.

Массовую долю фукоидана определяли спектрофотометрическим методом Z.A. Dische [136] в модификации А.И. Усова [106] по реакции взаимодействия фукоидана с раствором хлоргидрата L-цистеина и концентрированной серной кислотой в пересчете на фукозу.

Результаты исследования представлены на рисунке 32.

Остаточное содержание фукоидана в хлебе «Антистресс» остается практически неизменным ((0,028 ± 0,002) мг/100 г), потери составили в среднем 7,3 %. Данное количество ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в составе хлеба обеспечит от 45,5 до 52,5 % от максимального значения рекомендуемой нормы потребления фукоидана – 100 мг/сут при суточной норме потребления изделий хлебобулочных 175 г.

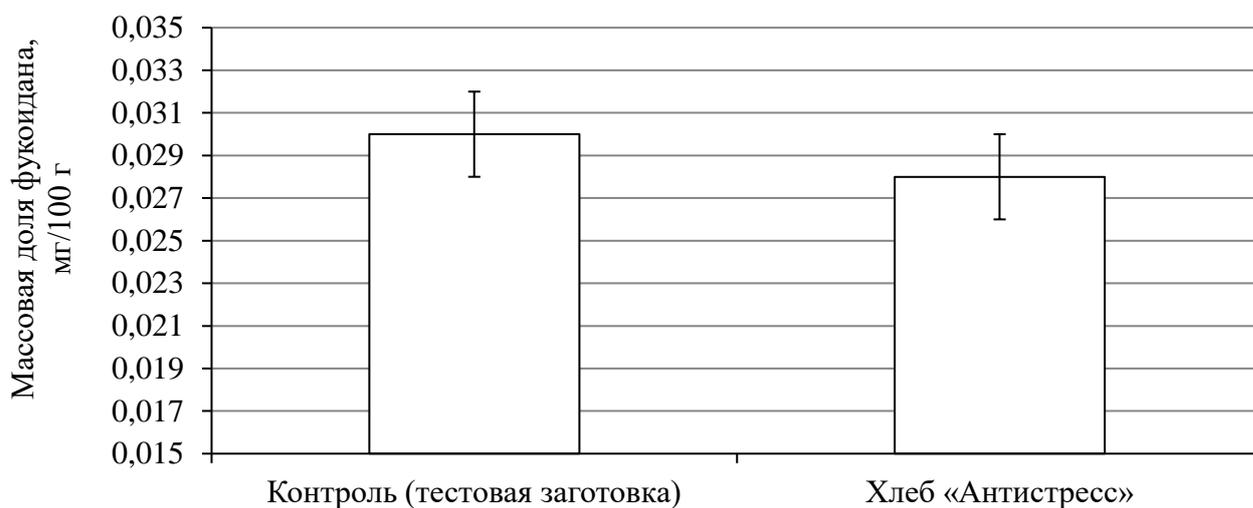


Рисунок 32 – Остаточное содержание фукоидана до и после выпечки хлеба «Антистресс», мг/100 г

Полученные данные свидетельствуют о термостабильности фукоидана в составе пищевой системы хлеба, что, в свою очередь, указывает на эффективность внесения данного ПИ в состав рецептуры хлеба.

5.4 Оценка качества хлеба «Антистресс» в процессе хранения

Пищевая матрица хлеба является в значительной степени лабильной системой, которая в процессе хранения претерпевает значительные изменения. Снижение качества данного пищевого продукта при хранении связано с интенсивностью протекания двух процессов: черствения и усыхания. В результате этого происходит потеря мягкости и эластичности мякиша, повышается его крошковатость, снижается аромат и выраженность вкуса, что в целом обуславливает потерю свежести изделий. Изменение свежести изделий хлебобулочных является результатом сложных физико-химических, коллоидных и биохимических процессов – изменений в углеводах и белках и снижением массы за счет потери влаги и летучих веществ [38; 40; 49; 86; 92; 114].

Контроль динамики изменения как органолептических, так и физико-химических показателей качества позволит спрогнозировать сохранение первоначальных характеристик хлеба, что является определяющим фактором при

оценке потребительских свойств и устойчивости разработанного продукта на продовольственном рынке.

Для установления влияния вносимого функционального ПИ на сохраняемость хлеба в течение гарантированных сроков хранения опытные образцы были заложены на хранение (МУК 4.2.1847-04) [94].

Состояние свежести контролировали по изменению органолептических (внешний вид, состояние мякиша, вкус, запах) и физико-химических показателей качества (массовая доля влаги, набухаемость, крошковатость, кислотность, пористость) через 3; 24; 48 и 72 ч после выпечки, а также через 108 ч (с учетом коэффициента резерва для скоропортящихся продуктов 1,5) [94].

Усредненные результаты дегустационной оценки контрольного образца и хлеба «Антистресс» в процессе хранения представлены в таблице 33.

Через 3 ч после выпечки хлеб «Антистресс» отличался более развитой равномерной тонкостенной пористостью и имел высокие потребительские характеристики. Использование ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» позволило получить изделия с увеличенным объемом, правильной формы, с несколько выпуклой коркой. Значительные изменения вкуса, аромата и цвета мякиша изделий отмечены не были.

Через 24 ч хранения не выявлено статистически значимых отличий органолептических показателей у контрольного образца и хлеба «Антистресс».

По прошествии 48 ч у контрольного образца наблюдалось снижение эластичности мякиша, увеличение крошковатости и жесткости. У опытного образца значительных изменений органолептических показателей не наблюдалось.

Через 72 ч хранения все образцы хлеба становились более жесткими, а их мякиш – менее эластичным. Однако при использовании ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» наблюдалось менее заметное снижение таких показателей, как мягкость и эластичность мякиша. Ухудшение вкусовых характеристик продукта связано с потерей летучих вкусоароматических веществ и процессами ретроградации белка и крахмала.

Таблица 33 – Усредненные результаты дегустационной оценки контрольного образца хлеба и хлеба «Антистресс» в процессе хранения

Показатель	Контроль					Хлеб «Антистресс»				
	Продолжительность хранения, ч									
	3	24	48	72	108	3	24	48	72	108
Внешний вид (Кв = 0,3)	4,5	4,5	4,1	3,8	3,7	5,0	5,0	4,8	4,7	3,8
Р ^н ·Кв	1,35	1,35	1,23	1,14	1,11	1,50	1,50	1,44	1,41	1,14
Состояние мякиша (Кв = 0,2)	4,2	4,0	3,9	3,5	3,5	5,0	4,8	4,7	4,5	3,6
Р ^н ·Кв	0,84	0,80	0,78	0,70	0,70	1,00	0,96	0,94	0,90	0,72
Вкус (Кв = 0,4)	4,7	4,6	4,2	3,7	3,5	5,0	4,9	4,5	4,4	3,5
Р ^н ·Кв	1,88	1,84	1,68	1,48	1,40	2,00	1,96	1,80	1,76	1,40
Запах (Кв = 0,1)	5,0	4,9	4,5	4,0	3,8	5,0	5,0	4,7	4,2	3,8
Р ^н ·Кв	0,50	0,49	0,45	0,40	0,38	0,50	0,50	0,47	0,42	0,38
Суммарный показатель	4,57	4,48	4,14	3,72	3,59	5,00	4,92	4,65	4,49	3,64
Категория качества	Хорошее	Хорошее	Хорошее	Удовлетво- рительное	Удовлетво- рительное	Отличное	Отличное	Отличное	Хорошее	Удовлетво- рительное

В конце срока хранения (через 72 ч) общая оценка хлеба «Антистресс» с содержанием ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» составила 4,49 балла, контрольного образца хлеба – 3,72 балла, что ниже опыта на 0,61 балла (83 %). Необходимо отметить, что контрольным образцам через 72 ч была присвоена категория качества «удовлетворительное», тогда как для хлеба «Антистресс» данная категория качества была характерна только через 108 ч хранения.

Интенсивность изменений физико-химических показателей зависит от условий хранения, технологии производства хлебобулочных изделий и компонентов, которые входят в их рецептуру [3].

Так как условия хранения были одинаковыми, то в основном на изменение физико-химических показателей при хранении влияли изменения в технологии производства и вносимая добавка. Изучение влияния данных факторов на физико-химические показатели в хранении проводили параллельно с изучением органолептических показателей.

Результаты физико-химической оценки контрольного образца хлеба и хлеба «Антистресс» представлены в таблице 34.

На основании массива полученных данных можно сказать, что хлеб «Антистресс» был в меньшей степени подвержен изменению физико-химических показателей, чем контрольный образец хлеба.

Так, к концу хранения (через 72 ч) влажность мякиша у контрольного образца хлеба снизилась на $(4,8 \pm 0,2)$ %, тогда как у образцов с ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» – на $(3,4 \pm 0,2)$ %.

Пористость мякиша хлеба после 72 ч хранения заметно уменьшилась во всех образцах. При этом колебания значений между контрольным и опытными образцами были незначительны: $(2,9 \pm 0,2)$ % для контрольного образца, $(2,8 \pm 0,2)$ % для образца хлеба с ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье».

Значение показателя титруемой кислотности на конец срока хранения оставалось практически на уровне начального значения во всех образцах – $(2,5 \pm 0,2)$ град. Аналогичные данные были получены также другими авторами, использовавшими полисахариды бурых водорослей в технологии хлеба [35; 97; 110].

Таблица 34 – Результаты определения физико-химических показателей контрольного образца хлеба и хлеба «Антистресс» в процессе хранения

Показатель	Длительность хранения, ч				
	3	24	48	72	108
Контроль					
Влажность мякиша, %	39,9 ± 0,2	39,2 ± 0,2	37,4 ± 0,2	35,1 ± 0,2	34,8 ± 0,2
Кислотность мякиша, град	2,4 ± 0,2	2,4 ± 0,2	2,4 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,7 ± 0,2
Пористость мякиша, %	75,9 ± 0,2	74,8 ± 0,2	73,6 ± 0,2	73,0 ± 0,2	69,5 ± 0,2
Крошковатость, %	5,6 ± 0,1	6,0 ± 0,2	6,5 ± 0,2	7,3 ± 0,2	8,6 ± 0,2
Коэффициент набухаемости	6,8 ± 0,1	6,8 ± 0,2	6,6 ± 0,2	6,4 ± 0,2	6,3 ± 0,2
Хлеб «Антистресс»					
Влажность мякиша, %	41,6 ± 0,2	41,0 ± 0,2	38,9 ± 0,2	38,2 ± 0,2	36,4 ± 0,2
Кислотность мякиша, град	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,7 ± 0,2
Пористость мякиша, %	83,8 ± 0,2	82,3 ± 0,2	81,4 ± 0,2	81,0 ± 0,2	76,3 ± 0,2
Крошковатость, %	3,9 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,8 ± 0,2	5,3 ± 0,2	5,6 ± 0,1
Коэффициент набухаемости	7,9 ± 0,2	7,9 ± 0,2	7,8 ± 0,2	7,6 ± 0,2	6,9 ± 0,1

Многочисленными исследователями установлено, что при черствении хлеба изменяются гидрофильные свойства мякиша. Установлено, что в процессе черствения практически в два раза снижается способность к набуханию и поглощению воды, увеличивается крошковатость [38; 40].

По мнению А.С. Романова и соавторов [92], крошковатость хлебного мякиша характеризует степень черствения, под действием которого снижается способность к набуханию и поглощению воды за счет уплотнения структуры белка.

В хлебе «Антистресс» значение показателя «крошковатость» на конец хранения (через 72 ч после выпечки) составляло (5,3 ± 0,2) %, тогда как у контрольного образца хлеба – (7,3 ± 0,2) %.

Способность к набуханию на конец срока хранения оставалась практически на уровне начального значения во всех образцах. При этом наибольшее значение имел хлеб «Антистресс» – 7,6 ± 0,2, наименьшее значение в контрольном образце составило 6,4 ± 0,2.

Процесс ретроградации мякиша хлеба в процессе хранения наиболее полно характеризуется динамикой изменения его реологических характеристик, усредненные результаты измерения которых представлены в таблице 35.

Реологические характеристики свидетельствуют о том, что использование БАВ бурых водорослей в технологии хлеба повышает значение пластической деформации. При использовании ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» значение пластической деформации увеличивается на 86,6 %. Данная тенденция наблюдается на протяжении всего срока хранения.

Таблица 35 – Усредненные результаты определения реологических характеристик исследуемых образцов хлеба в процессе хранения

Образец хлеба	Общая деформация $h_{\text{общ}}$, мм	Пластическая деформация $h_{\text{пл}}$, мм	Упругая деформация $h_{\text{упр}}$, мм	Эластичность $h_{\text{пл}}/h_{\text{общ}}$
Через 3 ч после выпечки				
Контроль	16,973	4,213	12,760	0,248
Хлеб «Антистресс»	20,054	7,863	12,191	0,392
Через 24 ч после выпечки				
Контроль	9,969	2,313	7,995	0,232
Хлеб «Антистресс»	12,979	4,620	8,495	0,356
Через 48 ч после выпечки				
Контроль	8,475	1,848	6,747	0,218
Хлеб «Антистресс»	11,345	4,016	7,564	0,354
Через 72 ч после выпечки				
Контроль	6,622	1,305	4,852	0,197
Хлеб «Антистресс»	10,772	2,736	6,942	0,254
Через 108 ч после выпечки				
Контроль	4,755	0,770	4,278	0,162
Хлеб «Антистресс»	6,378	1,467	5,671	0,230

Оценку безопасности и токсичности хлеба «Антистресс» с микроструктурированными БАВ бурых водорослей проводили по ГОСТ 31674-

2012 с помощью автоматизированного аппаратно-программного комплекса «БиоЛат» на тест-организмах – инфузориях вида *Paramecium caudatum* путем подсчета количества выживших простейших в лунках с помощью программы Auto Ciliata сразу после подсаживания их в исследуемые растворы и через 2 ч после начала исследования. В случае, если коэффициент выживаемости простейших менее 50 %, проба считается токсичной.

В таблице 36 представлены данные о выживаемости простейших, из которых можно заключить, что хлеб «Антистресс» не является токсичным на протяжении всего процесса хранения.

Таблица 36 – Оценка показателей степени токсичности хлеба «Антистресс» на простейших *Paramecium caudatum* в процессе хранения

Время хранения, ч	Среднее количество инфузорий, шт.		Степень токсичности	Прирост, %
	Начало исследования	Конец исследования		
3	184	215	нетоксичный	+16,8
24	192	218	нетоксичный	+13,5
48	186	204	нетоксичный	+9,7
72	178	198	нетоксичный	+11,2
108	168	190	нетоксичный	+13,1

На основании проведенной органолептической и физико-химической оценки хлеба «Антистресс» с использованием микроструктурированных БАВ бурых водорослей в процессе хранения было установлено, что применение данных ингредиентов не только положительно влияет на потребительские достоинства хлеба, но и способствует пролонгированию сроков его хранения.

5.5 Исследование стресс-протекторного действия хлеба «Антистресс»

в клинических исследованиях *in vivo*

Формирование состояния оксидативного стресса, по мнению ученых, является причиной, а возможно, и важной составляющей развития неинфекционных заболеваний, связанных с нарушенным углеводным обменом, а также онкологией, которые занимают «лидирующие» позиции среди распространенных патологий современного человека [8].

По мнению В.А. Курашвили, оксидативный стресс запускает определенный «метаболический каскад», т. е. совокупность взаимосвязанных патологических реакций, необратимо повреждающих клетку и приводящих к запуску генетически запрограммированной гибели нейронов – апоптозу. На сегодняшний день есть все основания считать оксидативный стресс одним из наиболее значимых механизмов повреждения нервной ткани [32].

Предлагаются разные подходы к минимизации рисков оксидативного стресса. Одним из способов решения данной проблемы может быть использование в продуктах питания биологически активных пищевых ингредиентов антиоксидантного действия в качестве низкомолекулярных перехватчиков активных форм кислорода (АФК).

Задачами данного этапа исследования являлись:

- изучение влияния хлеба «Антистресс» на психологические и психофизиологические особенности стресс-резистентности испытуемых;
- исследование влияния хлеба «Антистресс» на показатели функциональности гипофизарно-надпочечниковой системы (кортизол).

Для проведения исследования стресс-протекторного действия хлеба «Антистресс» были выпечены:

- хлеб из пшеничной муки первого сорта без добавления ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (плацебо);

– хлеб «Антистресс» с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в количестве, обеспечивающем 50 % от максимального значения рекомендуемой суточной нормы потребления фукоидана.

Программа фокусировалась на добровольном включении здоровых людей в возрасте от 18 до 40 лет в рандомизированное слепое плацебо-контролируемое исследование в период с марта по апрель 2017 г. Выборку составила группа, состоящая из 31 человека (на конец исследования), из них:

– 15 человек получали хлеб без добавления ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (*контрольная группа*);

– 16 человек получали хлеб «Антистресс» с добавлением ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» (*экспериментальная группа*).

Данные о испытуемых проспективно регистрировались в течение всего срока выполнения исследования (1 месяц с момента включения испытуемого в научно-исследовательскую программу). Испытуемые ежедневно получали порцию хлебобулочного изделия на протяжении 28 дней. Оценка исследуемых показателей проводилась до начала и в конце исследования.

Исследование влияния хлеба «Антистресс» на психологические и психофизиологические особенности стресс-резистентности испытуемых

Произведено сопоставление результатов начального и конечного психологического тестирования (проведенных в начале и в конце исследования). В группе контроля значимо увеличился показатель личностной тревожности ($T_{эмп} = 0$ при $p > 0,05$); в экспериментальной группе значимо увеличился показатель удовлетворенности ближайшим социальным окружением ($T_{эмп} = 0$ при $p > 0,05$).

Повышение уровня личностной тревожности в контрольной группе, по всей видимости, связано с ощущением отсутствия положительной динамики в эмоционально-личностной сфере.

Испытуемые экспериментальной группы стали более адаптивно взаимодействовать с ближайшим социальным окружением. У испытуемых данной группы произошли положительные сдвиги эмоционально-личностного плана при

взаимодействии в микросоциальной среде. Данные изменения свидетельствуют о том, что у испытуемых экспериментальной группы снизилось ощущение реальной или предполагаемой невозможности удовлетворить свои потребности в личностно-средовом взаимодействии.

Исследование влияния хлеба «Антистресс» на функциональность гипофизарно-надпочечниковой системы

Кортизол является стероидным гормоном коры надпочечников, наиболее активным из глюкокортикоидных гормонов. Служит регулятором углеводного, белкового и жирового обмена. Кортизол вырабатывается пучковой зоной коры надпочечников под контролем аденокортикотропного гормона (АКТГ) и играет ключевую роль в защитных реакциях организма на стресс.

При исследовании показателей крови, характеризующих функциональность гипофизарно-надпочечниковой системы, установлено, что употребление хлеба «Антистресс» оказывает влияние на динамику уровня кортизола в сыворотке крови (рисунок 33).

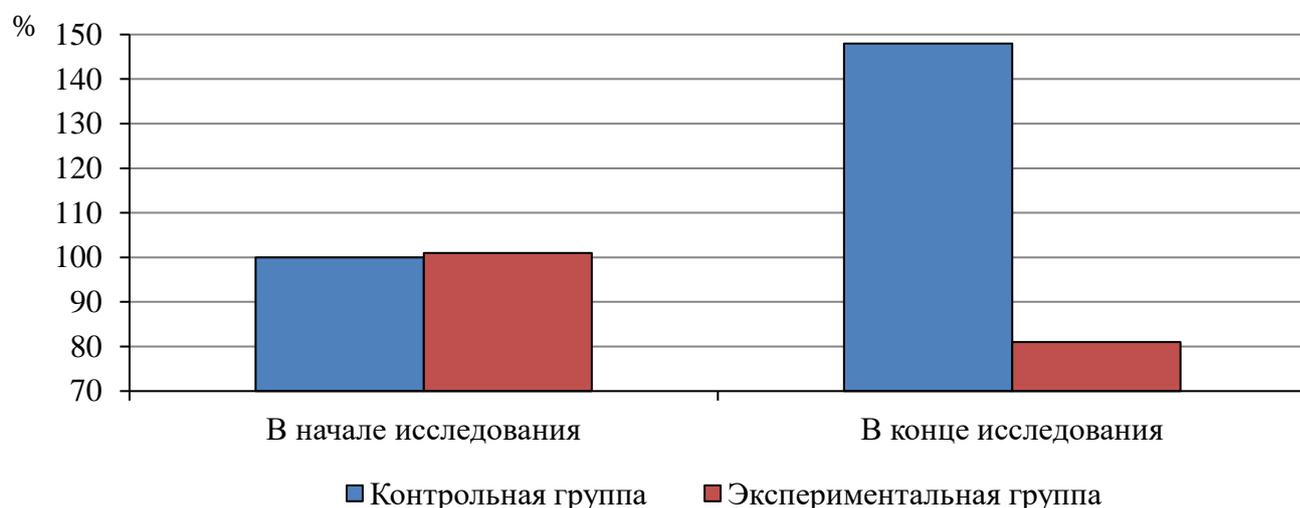


Рисунок 33 – Динамика уровня кортизола у групп волонтеров при потреблении продуктов разного состава (усредненные значения), %

У контрольной группы волонтеров наблюдалось увеличение содержания кортизола в сыворотке крови в среднем на 48 %, тогда как у экспериментальной

группы было отмечено снижение уровня кортизола на 20 %. При этом значение показателей было на уровне нормы (5–25 мкг/дл).

Таким образом, полученные данные дают возможность сделать вывод о том, что регулярное употребление хлеба «Антистресс» позволит повысить стресс-резистентность организма человека и будет способствовать профилактике НИЗ, связанных с оксидативным стрессом.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что использование БАВ бурых водорослей фукоидана, альгината натрия и органического йода в технологии хлебопечения положительно влияет на потребительские свойства, сохранение качества, а также увеличение функциональных свойств продукции.

В производственных условиях ИП Акопян Г,С. «Хлебный домъ» в соответствии с разработанными рецептурой, технологической инструкцией, СТО 02066724-020-2020 на хлеб из пшеничной муки «Антистресс» были выработаны опытные партии хлеба с повышенным содержанием йода и антиоксидантными свойствами (приложение А).

Внедрение результатов диссертационной работы в промышленное производство позволит расширить ассортимент продукции функционального и лечебно-профилактического назначения и, как следствие, повысить пищевой статус населения, проживающего в условиях экологической напряженности Уральского региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования была усовершенствована технология, а также проведена комплексная товароведная оценка качества хлеба из пшеничной муки, обогащенного микроструктурированными на основе ультразвука биологически активными веществами бурых водорослей.

В результате проведенной работы были решены поставленные задачи, на основании чего сделаны следующие выводы.

1. На основе анализа и систематизации научной информации об используемых подходах и технологиях обогащения пищевых продуктов биологически активными веществами обоснована необходимость применения БАВ бурых водорослей в технологии изделий хлебобулочных с целью минимизации рисков возникновения стрессовых состояний, являющихся триггерным фактором развития НИЗ. Описаны физические и структурные характеристики, ограничивающие применение данных пищевых ингредиентов в исходном виде для обогащения пищевых систем. Обоснована необходимость применения способов модификации БАВ бурых водорослей для улучшения их встраивания в систему пищевого продукта и повышения эффективности влияния на организм.

2. Установлено, что рынок обогащенных изделий хлебобулочных в Челябинской области представлен в основном продукцией местных хлебопекарных предприятий, присутствует сегмент хлебобулочной продукции «для здорового питания». На основе анализа имеющейся информации (данных маркировки) установлено, что обогащение изделий хлебобулочных осуществляется преимущественно с использованием продуктов переработки масличных и зерновых культур, плодов, ягод, а также других пищевых ингредиентов. Определено, что использование ингредиентов для обогащения не ориентировано на решение проблем, связанных с минимизацией рисков возникновения НИЗ, вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом.

В ходе социологического исследования установлено, что большинство (69,8 %) респондентов считают целесообразным расширение ассортимента продуктов «для здорового питания» и готовы покупать такие продукты. Результаты исследования потребительских предпочтений показали, что изделия хлебобулочные из пшеничной муки пользуются наибольшим спросом (41,2 %), а значит, могут выступать в качестве продуктов для обогащения биологически активными пищевыми ингредиентами с целью снижения рисков возникновения НИЗ у населения г. Челябинска и Челябинской области, обусловленных экологическим состоянием территории.

3. Проведены исследования свойств БАВ бурых водорослей, реализуемых на потребительском рынке в качестве пищевых ингредиентов. Определено, что их структурные параметры (неоднородность состава, неравномерность дисперсии частиц, плохая растворимость) являются ограничительным фактором для проявления биологической активности в пищевой системе. Решить данную проблему позволяет модификация БАВ бурых водорослей, в частности деструкция полисахарида фукоидана, составляющего основную часть пищевого ингредиента, с помощью НУЗВ. При этом размеры частиц в среднем снижаются в 30–40 раз, суммарное значение показателя АОА увеличивается в среднем на 3,8 %. Процесс микроструктурирования НУЗВ БАВ бурых водорослей способствует увеличению их биодоступности, что проявляется в приросте биомассы простейших *Paramecium caudatum* на 30 % (для ПИ «Фуколам-С-сырье»). В результате решения задачи оптимизации в качестве рационального был определен следующий режим НУЗВ: мощность – 630 Вт/л, время экспозиции – 30 мин.

4. Исследовано влияние БАВ бурых водорослей на биотехнологические процессы в хлебопечении. Установлено, что в присутствии биостимуляторов БАВ бурых водорослей метаболические процессы в клетках дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* интенсифицируются, причем наиболее значимо при использовании микроструктурированного БАВ. Наблюдается более интенсивное накопление запасных веществ: количество клеток с волютином увеличилось на

96–97 %, с гликогеном – на 66–67 %. Внесение биостимуляторов БАВ бурых водорослей как в исходной, так и в микроструктурированной форме позволяет сократить длительность активации прессованных дрожжей на 1,5 ч по отношению к контролю. Использование ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» увеличивает подъемную силу дрожжей на 3,3 % в сравнении с контрольным образцом теста. Добавление исходного ПИ «Фуколам-С-сырье» увеличивает прирост биомассы дрожжей на 23 %, а микроструктурированного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» – на 38 %.

Внесение БАВ бурых водорослей как в исходной, так и в микроструктурированной форме ведет к незначительному увеличению выхода сырой клейковины на 2,38–2,58 %. Термогравиметрический анализ позволил установить, что увеличение общего выхода сырой клейковины связано с тем, что полисахариды добавки быстро связывают воду (в основном адсорбционно) и встраиваются в белковую матрицу теста, задерживаясь в ее каркасе.

В ходе исследования влияния микроструктурированных БАВ бурых водорослей на процессы тестоведения установлено, что образцы теста, обогащенного БАВ, достигают кислотности 2,2 град (максимальной для контроля) на 100 мин раньше для ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» и на 60 мин – для ПИ «Фуколам-С-сырье», следовательно, процесс брожения идет интенсивнее. АОА образца теста, обогащенного ПИ «Фуколам-С-сырье», выше контроля на 6,2 %, обогащенного ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» – на 10,0 %. Реологические характеристики свидетельствуют, что внесение в рецептуру БАВ бурых водорослей как в исходной, так и в микроструктурированной форме обеспечивает пластичность теста.

5. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана рецептура и технология хлеба «Антистресс», обогащенного микроструктурированными БАВ бурых водорослей, способствующего росту стресс-резистентности организма человека при потреблении.

Проведена комплексная товароведная оценка качества разработанной продукции по совокупности органолептических, физико-химических показателей

и показателей безопасности. Доказано, что внесение ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» оказывает положительное влияние на качество изделий хлебобулочных. Значение АОА образца хлеба с содержанием ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в концентрации 0,05 % от массы муки выше АОА контрольного образца в 3,4 раза в корке и в 2,5 раза в мякише. Исследование количественного содержания йода в готовых изделиях показало, что потери йода после выпечки при использовании ПИ_{микр} «Фуколам-С-сырье» в среднем составили 49–50 %. Остаточное содержание фукоидана после выпечки в готовом изделии остается практически неизменным ($0,028 \pm 0,002$ мг/г), что доказывает его термостабильность.

В процессе хранения хлеб «Антистресс» сохранял характеристики по органолептическим показателям качества и безопасности; значения физико-химических показателей изменялись в допустимых пределах, что позволило пролонгировать сроки его хранения на 36 ч.

Доказана эффективность хлеба «Антистресс» в клинических исследованиях *in vivo*. У испытуемых экспериментальной группы возросла стресс-резистентность, произошли положительные сдвиги эмоционально-личностного плана при взаимодействии в микросоциальной среде. У контрольной группы волонтеров наблюдалось увеличение содержания кортизола в сыворотке крови в среднем на 48 %, у экспериментальной группы было отмечено снижение уровня кортизола на 20 %. При этом значение показателей было на уровне нормы (5–25 мкг/дл). Таким образом, полученные данные дают возможность сделать вывод о том, что регулярное употребление хлеба «Антистресс» позволит повысить стресс-резистентность организма человека и будет способствовать профилактике НИЗ, связанных с оксидативным стрессом.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АКТГ – адренокортикотропный гормон.

АОА – антиоксидантная активность.

АФК – активные формы кислорода.

БАВ – биологически активное вещество.

БАД – биологическая добавка.

БАПИ – биологически активный пищевой ингредиент.

ЗНО – злокачественное новообразование.

НИЗ – неинфекционное заболевание.

НУЗВ – низкочастотное ультразвуковое воздействие.

ПИ – пищевой ингредиент.

ПИ_{микро} – микроструктурированный пищевой ингредиент.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

ТЭБ – технологическая эффективность брожения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминина, Н.М. Состав и возможности использования бурых водорослей дальневосточных морей / Н.М. Аминина, Т.И. Вишневская, О.Н. Гурулева, Л.Т. Ковековдова // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2007. – № 6 (136). – С. 123–130.
2. Анастюк, С.Д. Фукоиданы – сульфатированные полисахариды бурых водорослей. Структура и биологические свойства / С.Д. Анастюк, Н.Н. Беседнова, Л.Н. Богданович [и др.] ; отв. ред. Н.Н. Беседнова, Т.Н. Звягинцева. – Владивосток : Дальнаука, 2014. – 191 с. – ISBN 978-5-8044-1473-4.
3. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства : учебник / под общ. ред. Л.И. Пучковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2009. – 416 с.
4. Бахтин, Г.Ю. Разработка и товароведная характеристика хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с нетрадиционными источниками пищевых волокон : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Бахтин Григорий Юрьевич. – Барнаул, 2017. – 213 с.
5. Буховец, В.А. Разработка технологии производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / В.А. Буховец, Д.В. Ефимова, Л.В. Давыдова. – DOI: 10.21603/2074-9414-2019-2-193-200 // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 193–200.
6. Буховец, В.А. Роль параметров процесса окончательной расстойки в формировании качества хлебобулочных изделий с нутом / В.А. Буховец // Естественные и точные науки. – 2011. – № 3 (53). – С. 505–511.
7. Вищук, О.С. Противоопухолевая активность фукоиданов бурых водорослей / О.С. Вищук, С.П. Ермакова, Ф.Д. Тин // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2009. – № 3 (37). – С. 92–96.
8. Глобальный план действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. – URL: <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-action-plan/ru> (дата обращения: 20.08.2019).

9. ГОСТ 25832-89. Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 15 с.
10. ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 32 с.
11. ГОСТ 26574-2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 12 с.
12. ГОСТ 27494-2016. Мука и отруби. Методы определения зольности. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 11 с.
13. ГОСТ 27558-87. Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 3 с.
14. ГОСТ 27669-88. Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 9 с.
15. ГОСТ 27839-2013. Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 18 с.
16. ГОСТ 31674-2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 17 с.
17. ГОСТ 5667-65. Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 4 с.
18. ГОСТ 9404-88. Мука и отруби. Метод определения влажности. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 4 с.
19. ГОСТ Р 54731-2011. Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 12 с.
20. ГОСТ Р 58233-2018. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 15 с.
21. Гришина, Л.Н. Разработка технологии хлебобулочных изделий с применением микроводоросли спирулины : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Гришина Лариса Николаевна. – Москва, 2012. – 185 с.
22. Десятилетие действий ООН по проблемам питания, 2016–2025 годы. Программа работы. – URL: <https://www.who.int/nutrition/decade-of-action/workprogramme-2016to2025/ru/> (дата обращения: 15.03.2019).

23. Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2018 г. – URL: <http://mineco174.eps74.ru/htmlpages/Show/OxранаokruzhayushhejsredyCHely/Informaciyaobekologicheskojisit> (дата обращения: 10.10.2019).

24. Запорожец, Т.С. Иммуноактивные биополимеры из морских гидробионтов / Т.С. Запорожец, Н.Н. Беседнова. – Владивосток : Изд-во ТИНРО-центра, 2007. – 219 с.

25. Запорожец, Т.С. Клеточные и молекулярные механизмы иммуномодулирующего действия биополимеров морских гидробионтов : дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.36 / Запорожец Татьяна Станиславовна. – Владивосток, 2006. – 365 с.

26. Ирматова, Ж.К. Изучение влияния сывороточных белков на реологические показатели теста / Ж.К. Ирматова // Известия вузов (Кыргызстан). – 2012. – № 1. – С. 30–32.

27. Калинина, И.В. Влияние добавки кедровой муки на формирование качества, сохраняемость и пищевую ценность хлебобулочных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Калинина Ирина Валерьевна. – Санкт-Петербург, 2006. – 195 с.

28. Калинина, И.В. Научное и практическое обоснование модификации растительного антиоксиданта для эффективного использования в производстве пищевых продуктов гидробионтов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.15 / Калинина Ирина Валерьевна. – Екатеринбург, 2019. – 336 с.

29. Ковальчук, Л.В. Врожденные компоненты иммунитета: toll-подобные рецепторы в норме и при иммунопатологии / Л.В. Ковальчук, М.В. Хорева, А.С. Варивода // Журнал микробиологии. – 2005. – № 4. – С. 96–104.

30. Козьмина, Н.П. Биохимия хлебопечения / Н.П. Козьмина. – Москва : Пищевая промышленность, 1978. – 278 с.

31. Коленченко, Е.А. Сравнительная оценка антиоксидантной активности некрахмальных полисахаридов : дис. ... канд. биол. наук : 14.00.25 / Коленченко Елена Алексеевна. – Владивосток, 2004. – 138 с.

32. Курашвили, В.А. Новые возможности предотвращения оксидативного стресса / В.А. Курашвили, Л. Майлэм // Журнал натуральной медицины. – 2001. – С. 7–14.

33. Кусайкин, М.И. Распространение О-гликозилгидролаз в морских беспозвоночных. Ферменты морского моллюска *Littorina kurila*, катализирующие трансформацию фукоиданов / М.И. Кусайкин, Ю.В. Бурцева, Т.Г. Светашева [и др.] // Биохимия. – 2003. – Т. 68, № 3. – С. 384–392.

34. Лейберова, Н.В. Разработка рецептур булочных изделий с использованием растительного сырья на предприятиях общественного питания / Н.В. Лейберова, Я.Ю. Старовойтова, О.В. Чугунова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2017. – № 1 (42). – С. 8–14.

35. Лях, В.А. Разработка рецептуры и оценка потребительских свойств хлеба с использованием продуктов переработки бурых водорослей : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Лях Владимир Алексеевич. – Кемерово, 2017. – 203 с.

36. Марков, А.С. Оценка методов определения объема хлеба и хлебобулочных изделий / А.С. Марков, Ю.В. Маркова, А.С. Романов. – DOI: 10.32462/0235-2508-2019-28-2-44-46 // Хлебопродукты. – 2019. – № 2. – С. 44–46.

37. Науменко, Н.В. Анализ направлений развития рынка хлебобулочных изделий / Н.В. Науменко, И.В. Калинина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – Т. 2, № 4. – С. 11–16.

38. Науменко, Н.В. Влияние активированной воды на формирование качества и сохраняемость хлеба из пшеничной муки : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Науменко Наталья Владимировна. – Санкт-Петербург, 2007. – 172 с.

39. Науменко, Н.В. Влияние ультразвукового воздействия при проращивании зерна пшеницы на синтез γ -аминомасляной кислоты / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Н.В. Белоглазова [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 85–93.

40. Науменко, Н.В. Метод микроскопии в исследовании процессов черствения хлеба / Н.В. Науменко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 80–83.

41. Новикова, Ю.С. Выбор источника фукоидана и оптимизация его ферментативного гидролиза / Ю.С. Новикова, Е.П. Анохина, О.С. Корнеева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – № 2. – С. 224–228.

42. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации : метод. рекомендации МР 2.3.1.2432-08. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 38 с.

43. Обзор рынка хлебопекарной продукции в Уральском ФО // Российский продовольственный рынок. – 2020. – № 1. – URL: <http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=2696> (дата обращения: 22.02.2020).

44. Облучинская, Е.Д. Комплексное использование бурых водорослей / Е.Д. Облучинская // Российский химический журнал. – 2004. – Т. XLVIII, № 3. – С. 136–142.

45. Обогащение витаминно-минеральными комплексами массовых сортов хлебобулочных изделий, вырабатываемых по национальным стандартам : метод. Рекомендации МР 2.3.2.2571-10. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 28 с. – ISBN 978-5-7508-0812-0.

46. Основные показатели, характеризующие воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду в Челябинской области // Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области. – URL: http://chelstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/chelstat/ru/statistics/environment/ (дата обращения: 22.01.2020).

47. Остриков, А.Н. Исследование форм связи влаги в растительно-мясной смеси на основе люпина, чечевицы и сублимированного мяса методом дифференциально-термического анализа / А.Н. Остриков, М.С. Напольских // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2012. – № 4 (42). – С. 335–339.

48. Островский, А.И. Жидкие хлебные закваски и жидкие дрожжи / А.И. Островский. – Москва : Пищепромиздат, 1943. – 89 с.

49. Паймулина, А.В. Влияние кавитированной воды и природного адаптогена на качество хлеба в процессе хранения / А.В. Паймулина, И.Ю. Потороко // Инновационные пути в разработке ресурсосберегающих технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Курган : Изд-во Курганской ГСХА, 2017. – С. 133–138.

50. Паймулина, А.В. Влияние ультразвуковой кавитации на процесс микронизации фукоидана, используемого в технологии йогуртов и хлеба / А.В. Паймулина, Д.Г. Ускова, И.Ю. Потороко. – DOI: 10.33236/2307-910X-2019-2-26-123-130 // Современная наука и инновации. – 2019. – № 2 (26). – С. 139–148.

51. Паймулина, А.В. Использование активированной воды и комбинированной растительной добавки на основе стевиозида и фукоидана в технологии хлебопечения / А.В. Паймулина, В.В. Худяков, Н.В. Науменко. – DOI: 10.14529/food170111 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 82–89.

52. Паймулина, А.В. Перспективы использования обогащающих добавок в технологии хлебобулочных изделий / А.В. Паймулина, Н.В. Андросова, Н.В. Науменко. – DOI: 10.14529/food160411 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 4. – С. 95–104.

53. Паймулина, А.В. Пищевые ингредиенты направленного действия в технологии хлебобулочных изделий / А.В. Паймулина, И.В. Калинина, Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко. – DOI: 10.14529/food180303 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 22–32.

54. Паспорт национального проекта «Демография» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16) // КонсультантПлюс.

55. Патент № 2240692 Российская Федерация, МПК А21D 8/02. Способ приготовления хлеба – № 2003110444/13 ; заявл. 14.04.2003 ; опубл. 27.11.2004 / Л.П. Пащенко, Н.Н. Булгакова, И.А. Никитин, О.В. Часовских. – 6 с.

56. Патент № 2265335 Российская Федерация, МПК А21D 13/02. Состав для приготовления хлеба – № 2003102914/13 ; заявл. 31.01.2003 ; опубл. 10.12.2005 / Л.П. Карыгина, А.Г. Адмайкина, О.М. Одрузова. – 6 с.

57. Патент № 2304443 Российская Федерация, МПК А61К 36/03, А61Р 31/12. Средство, обладающее противовирусной активностью – № 2006100574/15 ; заявл. 10.01.2006 ; опубл. 20.08.2007 / И.Д. Макаренкова, Г.Г. Компанец, Н.Н. Беседнова [и др.]. – 8 с.

58. Патент № 2315487 Российская Федерация, МПК А23L 1/30, А23L 1/337, А23L 2/38, А23L 2/52, А61К 8/73. Биологически активный продукт из бурой водоросли, биологически активная добавка к пище, безалкогольный напиток, парфюмерно-косметическое средство – № 2006115454/13 ; заявл. 04.05.2006 ; опубл. 27.01.2008 / Н.М. Шевченко, Т.И. Имбс, Т.Н. Звягинцева [и др.]. – 12 с.

59. Патент № 2345531 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 2/36. Способ приготовления хлеба «Полевой» – № 2007115086/13 ; заявл. 23.04.2007 ; опубл. 10.02.2009 / Л.П. Пащенко, С.Ю. Федоров, В.Л. Пащенко. – 8 с.

60. Патент № 2375878 Российская Федерация, МПК А23С 9/13. Кисломолочный напиток – № 2008119157/13 ; заявл. 14.05.2008 ; опубл. 20.12.2009 / Т.К. Каленик, Л.Н. Федянина, Ж.П. Павлова [и др.]. – 6 с.

61. Патент № 2396033 Российская Федерация, МПК А23L 2/02. Безалкогольный напиток – № 2009103490/13 ; заявл. 02.02.2009 ; опубл. 10.08.2010 / Л.А. Текутьева, Т.К. Каленик, Е.С. Фищенко [и др.]. – 8 с.

62. Патент № 2399209 Российская Федерация, МПК А21D 2/36, А21D 8/02. Композиция для приготовления теста для хлеба пшеничного «Дары моря» – № 2009112903/13 ; заявл. 06.04.2009 ; опубл. 20.09.2010 / Т.К. Каленик, Е.С. Смертина, Л.Н. Федянина [и др.]. – 8 с.

63. Патент № 2405311 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 2/36. Состав для приготовления диетического ржано-пшеничного хлеба – № 2009122815/13 ; заявл. 15.06.2009 ; опубл. 10.12.2010 / Т.К. Каленик, О.Н. Самченко, О.Г. Чижикова. – 6 с.

64. Патент № 2421230 Российская Федерация, МПК А61К 31/737, А61К 31/727, А61К 47/00. Способ предотвращения десульфатирования и повышения биодоступности биологически активных сульфатированных полисахаридов при их пероральном применении – № 2009128554/15 ; заявл. 23.07.2009 ; опубл. 20.06.2011 / А.А. Бекарев, А.В. Артамонов, Е.И. Верещагин. – 15 с.

65. Патент № 2452183 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 13/02. Способ производства пшеничного зернового хлеба – № 2011101012/13 ; заявл. 12.01.2011 ; опубл. 10.06.2012 / Г.Ц. Цыбикова, Е.Г. Инешина, Д.Н. Хамханова. – 7 с.

66. Патент № 2456873 Российская Федерация, МПК А23L 2/00. Безалкогольный напиток – № 2011100769/13 ; заявл. 12.01.2011 ; опубл. 27.07.2012 / Т.А. Кузнецова, Т.С. Запорожец, Н.Н. Беседнова [и др.]. – 9 с.

67. Патент № 2474123 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 2/00. Способ производства йодированного хлеба – № 2011137786/13 ; заявл. 13.09.2011 ; опубл. 10.02.2013 / А.Н. Мамцев, Е.Е. Пономарев, В.Н. Козлов [и др.]. – 7 с.

68. Патент № 2526651 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 8/04. Способ производства пшеничного хлеба – № 2012147568/13 ; заявл. 02.11.2012 ; опубл. 27.08.2014 / Р.А. Федорова, О.В. Головинская, В.М. Пономаренко. – 6 с.

69. Патент № 2544090 Российская Федерация, МПК А21D 8/02. Способ производства специализированного хлеба геродиетического назначения – № 2013123467/13 ; заявл. 23.05.2013 ; опубл. 27.11.2014 / М.Н. Костюченко, Ю.В. Работкин, Л.А. Шлеленко [и др.]. – 10 с.

70. Патент № 2547560 Российская Федерация, МПК А61К 31/43, А61К 9/50, А61К 47/36, А61J 3/07, В01J 13/02. Способ получения микрокапсул лекарственных препаратов группы пенициллинов в альгинате натрия, обладающих супрамолекулярными свойствами – № 2013139909/15 ; заявл. 27.08.2013 ; опубл. 10.04.2015 / А.А. Кролевец. – 12 с.

71. Патент № 2569480 Российская Федерация, МПК А23L 1/164. Овощные и фруктово-овощные пастилки, способ их изготовления и потребления (варианты) – № 2014107947/13 ; заявл. 02.08.2012 ; опубл. 27.11.2015 / В.Д. Савант. – 22 с.

72. Патент № 2611824 Российская Федерация, МПК А21D 13/00. Состав для производства хлеба с гречневой мукой – № 2016103348 ; заявл. 02.02.2016 ; опубл. 01.03.2017 / Л.Ю. Драгилева, Л.Ф. Степулева, А.О. Шкапорова. – 7 с.

73. Патент № 2613883 Российская Федерация, МПК А61К 36/53, А61К 47/36, А61К 9/51, А61J 3/07, В82В 3/00. Способ получения нанокапсул розмарина в альгинате натрия – № 2015153154 ; заявл. 10.12.2015 ; опубл. 21.03.2017 / А.А. Кролевец. – 5 с.

74. Патент № 2616840 Российская Федерация, МПК А21D 2/36, А21D 13/064. Хлеб «Амарантовый» – № 2015150942 ; заявл. 27.11.2015 ; опубл. 18.04.2017 / М.Ш. Бегеулов, Е.О. Сычева, В.В. Федорова. – 8 с.

75. Патент № 2624531 Российская Федерация, МПК А61К 36/537, А61К 47/36, А61К 9/51, А61J 3/07, А23L 25/00, В82У 5/00. Способ получения нанокапсул семян чиа (*Salvia hispanica*) в альгинате натрия – № 2016108724 ; заявл. 10.03.2016 ; опубл. 04.07.2017 / А.А. Кролевец. – 5 с.

76. Патент № 2629286 Российская Федерация, МПК А23G 9/00. Смесь для приготовления мороженого – № 2016142548 ; заявл. 31.10.2016 ; опубл. 28.08.2017 / Ю.К. Пентехина, Ж.П. Павлова, Л.А. Текутьева [и др.]. – 9 с.

77. Патент № 2649191 Российская Федерация, МПК А21D 2/36. Состав для производства хлебобулочных изделий – № 2017120048 ; заявл. 08.06.2017 ; опубл. 30.03.2018 / Е.В. Соболева, Н.Ф. Кушнерова, А.А. Гайда [и др.]. – 10 с.

78. Патент № 2654103 Российская Федерация, МПК А21D 13/02. Способ производства хлеба повышенной пищевой ценности – № 2017112047 ; заявл. 10.04.2017 ; опубл. 16.05.2018 / Е.И. Пономарева, С.И. Лукина, Н.Н. Алехина [и др.]. – 7 с.

79. Патент № 2655620 Российская Федерация, МПК А61К 36/05, А61К 9/51, В82В 1/00. Способ получения нанокапсул экстракта хлореллы в альгинате натрия – № 2017105172 ; заявл. 16.02.2017 ; опубл. 29.05.2018 / А.А. Кролевец. – 4 с.

80. Патент № 2673734 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 13/062. Способ приготовления хлеба для диабетических больных – № 2017140575 ; заявл. 21.11.2017 ; опубл. 29.11.2018 / Ф.А. Бисчокова, Л.З. Бориева, А.К. Езаов. – 7 с.

81. Патент № 2689535 Российская Федерация, МПК А21D 2/36. Способ производства пшеничного булочного изделия с амарантовым обогатителем – № 2018130883 ; заявл. 28.08.2018 ; опубл. 25.05.2019 / Н.А. Шмалько, С.О. Смирнов, С.А. Урубков. – 16 с.

82. Патент № 2690424 Российская Федерация, МПК А21D 8/02, А21D 13/04, А21D 13/047. Способ производства диетического хлеба «Тритикалевый» – № 2017137311 ; заявл. 24.10.2017 ; опубл. 24.04.2019 / А.Т. Васюкова, А.А. Славянский, А.В. Мошкин [и др.]. – 8 с.

83. Патент № 2695618 Российская Федерация, МПК А61К 9/51, А61К 36/28, А61К 47/36, А61J 3/07, В82В 3/00. Способ получения нанокапсул сухого экстракта стевии – № 2018100759 ; заявл. 10.01.2018 ; опубл. 10.07.2019 / А.А. Кролевец, В.С. Андреенков, О.В. Левченко, Л.Ю. Пустовой. – 4 с.

84. Патент № 2697840 Российская Федерация, МПК А61К 9/51, А61К 36/074, А61К 47/36, А61J 3/07, В82В 3/00, В82У 40/00. Способ получения нанокапсул сухого экстракта рейши (*Ganoderma Lucichum Karst.*) – № 2019102841 ; заявл. 01.02.2019 ; опубл. 21.08.2019 / А.А. Кролевец. – 4 с.

85. Патент № 2702089 Российская Федерация, МПК А21D 13/04. Хлеб повышенной пищевой ценности и способ его изготовления – № 2018147043 ; заявл. 27.12.2018 ; опубл. 03.10.2019 / В.В. Долгих. – 19 с.

86. Пехтерева, А.А. Исследование качественных характеристик хлебобулочных изделий, обогащенных микронутриентами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Пехтерева Анастасия Алексеевна. – Кемерово, 2013. – 18 с.

87. Потороко, И.Ю. Использование ультразвуковой микронизации растительного ингредиента фукоидана для применения в технологиях пищевых производств / И.Ю. Потороко, Д.Г. Ускова, А.В. Паймулина, У. Багале. – DOI: 10.14529/food190107 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 58–70.

88. Потороко, И.Ю. Разработка технологии хлеба с лечебно-профилактическими свойствами на основе применения комплексной растительной добавки / И.Ю. Потороко, А.В. Паймулина, Д.Г. Ускова. – DOI:

10.14529/food160305 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4, № 3. – С. 39–46.

89. Приказ Минторга СССР от 03.10.1983 № 228 «Об утверждении правил розничной торговли хлебом и хлебобулочными изделиями» // КонсультантПлюс.

90. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19.08.2016 № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» // КонсультантПлюс.

91. Распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.» // КонсультантПлюс.

92. Романов, А.С. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий, качество и безопасность : учеб.-справ. пособие / А.С. Романов, Н.И. Давыденко, Л.Н. Шатнюк [и др.] ; под ред. В.М. Позняковского. – Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2005. – 278 с. – ISBN 5-94087-310-3.

93. Садыгова, М.К. Влияние нутовой муки на формирование ароматообразующих веществ хлебобулочных изделий / М.К. Садыгова, В.А. Буховец // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 2. – С. 54–57.

94. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов : метод. указания МУК 4.2.1847-04. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 31 с. – ISBN 5-7508-0515-8.

95. Сарсадских, А.В. Формирование качества хлеба из пшеничной муки с использованием биологически активных добавок «Лактусан» и «Эуфлорин-В» : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Сарсадских Анастасия Вадимовна. – Екатеринбург, 2016. – 161 с.

96. Сборник рецептов на хлебобулочные изделия, вырабатываемые по государственным стандартам / ГОСНИИХП. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2004. – ISBN 5-901065-70-0.

97. Смертина, Е.С. Костария ребристая – функциональный компонент в обогащенных хлебобулочных изделиях / Е.С. Смертина, Л.Н. Федянина, Т.К. Каленик // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – № 3. – С. 71–74.

98. Старовойтова О.В. Влияние антиоксидантов на биотехнологические показатели дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в технологии хлеба и мучного кондитерского изделия : дис. ... канд. техн. наук : 03.00.23, 05.18.01 / Старовойтова Оксана Валерьевна. – Казань, 2008. – 279 с.

99. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области : [сайт]. – URL: <http://chelstat.gks.ru> (дата обращения: 22.03.2020).

100. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/201. «О безопасности пищевой продукции» // КонсультантПлюс.

101. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» // КонсультантПлюс.

102. Трофимова, Н.Б. Обеспечение качества хлебобулочных изделий функционального назначения : дис. ... канд. техн. наук / Трофимова Наталья Борисовна. – Кемерово, 2016. – 200 с.

103. Ультразвуковые технологии и аппараты. – URL: <http://u-sonic.ru> (дата обращения: 10.02.2020).

104. Ускова, Д.Г. Формирование и оценка качества йогуртов с использованием фукоидана и ультразвуковой микронизации : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Ускова Дарья Геннадьевна. – Екатеринбург, 2019. – 185 с.

105. Усов, А.И. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Камчатки / А.И. Усов, Г.П. Смирнова, Н.Г. Клочкова // Биоорганическая химия. — 2001. – Т. 27, № 6. – С. 444–448.

106. Усов, А.И. Полисахариды водорослей. XXXV. Полисахаридный состав некоторых бурых водорослей Японского моря / А.И. Усов, Е.А. Кошелева, А.П. Яковлев // Биоорганическая химия. – 1985. – Т. 11, № 6. – С. 830–835.

107. ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России : [сайт]. – URL: <https://www.endocrincentr.ru> (дата обращения: 01.03.2020).

108. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 25.02.2020).

109. Федеральный закон «О профилактике заболеваний, связанных с дефицитом йода» : проект // КонсультантПлюс.

110. Федянина, Л.Н. Разработка рецептуры хлеба функционального назначения с применением альгината натрия / Л.Н. Федянина, Е.С. Смертина, В.А. Лях // Хлебопродукты. – 2015. – № 8. – С. 60–62.

111. Черных, В.Я. Реология на различных стадиях биотехнологии пшеничного хлеба / В.Я. Черных // Управление реологическими свойствами пищевых продуктов. – Москва : КТ «Буки-Веди», 2019. – С. 42–48.

112. Юрчак, В.Г. Роль связанной воды при производстве и хранении хлеба / В.Г. Юрчак, Н.И. Берзина, И.М. Ройтер. – Москва : ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта СССР, 1988. – 24 с.

113. Adhikari, U. Structure and antiviral activity of sulfated fucans from *Stoechospermum marginatum* / U. Adhikari, C.G. Mateu, K. Chattopadhyay [et al.]. – DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.05.024 // *Phytochemistry*. – 2006. – Vol. 67, iss. 22. – P. 2474–2482.

114. Ahmad, B.S. Effect of addition of fennel (*Foeniculum Vulgare L.*) on the quality of protein bread / B.S. Ahmad, E. Straumite, M. Sabovics [et al.]. – DOI: 10.1515/prolas-2017-0088 // *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. – 2017. – Vol. 71, № 6 (711).

115. Allsopp, P. The effect of consuming *Palmaria palmata*-enriched bread on inflammatory markers, antioxidant status, lipid profile and thyroid function in a randomised placebo-controlled intervention trial in healthy adults / P. Allsopp, W. Crowe, B. Bahar [et al.]. – DOI: 10.1007/s00394-015-1011-1 // *European journal of nutrition*. – 2016. – Vol. 55, iss. 5. – P. 1951–1962.

116. Baba, B.M. Effects of extraction solvent on fucose content in fucoidan extracted from brown seaweed (*Sargassum sp.*) from Pulau Langkawi, Kedah, Malaysia / B.M. Baba, W.A.W. Mustapha, L.S. Joe. – DOI: 10.1063/1.4966783 // *AIP*

Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2016. – Art. 1784. – URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4966783> (last access: 25.08.2019).

117. Back, H.I. Effects of fucoidan supplementation on *Helicobacter pylori* in humans / H.I. Back, S.Y. Kim, S.H. Park [et al.]. – DOI: 10.1096/fasebj.24.1_supplement.lb347 // FASEB Journal. – 2010. – Vol. 24, iss. 51. – Art. Lb347. – URL: https://faseb.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1096/fasebj.24.1_supplement.lb347 (last access: 25.08.2019).

118. Berteau, O. Sulfated fucans, fresh perspectives: structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharide / O. Berteau, B. Mulloy. – DOI: 10.1093/glycob/cwg058 // Glycobiology. – 2003. – Vol. 13, iss. 6. – P. 29–40.

119. Blondin, C. Inhibition of complement activation by natural sulfated polysaccharides (fucans) from brown seaweed / C. Blondin, E. Fischer, C. Boisson-Vidal. – DOI: 10.1016/0161-5890(94)90121-X // Molecular immunology. – 1994. – Vol. 31, iss. 4. – P. 247–253.

120. Blunt, J.W. Marine natural products / J.W. Blunt, B.R. Copp, M.H.G. Munro [et al.]. – DOI: 10.1039/c3np70117d // Natural product reports. – 2006. – Vol. 23, iss. 1. – P. 26–78.

121. Boita, R.F. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran / R.F. Boita, T. Oro, J. Bressiani [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcs.2016.08.015 // Journal of cereal science. – 2016. – Vol. 71. – P. 177–182.

122. Boopathy, N.S. Anticancer drugs from marine flora: an overview / N.S. Boopathy, K. Kathiresan. – DOI: 10.1155/2010/214186 // Journal of oncology. – 2010. – Vol. 2010. – Art. 214186. – URL: <http://www.hindawi.com/journals/jo/2010/214186> (last access: 25.03.2018).

123. Borazjani, N.J. Improved immunomodulatory and antioxidant properties of unrefined fucoidans from *Sargassum angustifolium* by hydrolysis / N.J. Borazjani, M. Tabarsa, S. Guan, M. Rezaei. – DOI: 10.1007/s13197-017-2867-2 // Journal of food science and technology. – 2017. – Vol. 54, iss. 12. – P. 4016–4025.

124. Burgain, J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications / J. Burgain, C. Gaiani, M. Linder, J. Scher. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031 // Journal of food engineering. – 2011. – Vol. 104, iss. 4. – P. 467–483.

125. Cho, M. Molecular characterization and immunomodulatory activity of sulfated fucans from *Agarum cribrosum* / M. Cho, D.-J. Lee, J.-K. Kim, S. You. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.07.055 // Carbohydrate polymers. – 2014. – Vol. 113. – P. 507–514.

126. Choi, E.M. Immunomodulating activity of arabinogalactan and fucoidan in vitro / E.M. Choi, A.J. Kim, Y.O. Kim. – DOI: 10.1089/jmf.2005.8.446 // Journal of medicinal food. – 2005. – Vol. 8, iss. 4. – P. 446–453.

127. Chua, E.G. Fucoidans disrupt adherence of *Helicobacter pylori* to AGS cells in vitro / E.G. Chua, P. Verbrugghe, T.T. Perkins, C.Y. Tay. – DOI: 10.1155/2015/120981 // Evidence-based complementary and alternative medicine. – 2015. – Vol. 2015. – Art. 120981. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2015/120981/> (last access: 25.03.2018).

128. Ciancia, M. Autohydrolysis of a partially cyclized mu/nu-carrageenan and structural elucidation of the oligosaccharides by chemical analysis, NMR spectroscopy and UV-MALDI mass spectrometry / M. Ciancia, Y. Sato, H. Nonami. – DOI: 10.3998/ARK.5550190.0006.C25 // Arkivoc. – 2005. – Iss. 12. – P. 319–333.

129. Croci, D.O. Fucans, but not fucomannoglucuronans, determine the biological activities of sulfated polysaccharides from *Laminaria Saccharina* brown seaweed / D.O. Croci, A. Cumashi, N.A. Ushakova. – DOI: 10.1371/journal.pone.0017283 // PLoS ONE. – 2011. – Vol. 6 (2). – Art. e17283. – URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0017283> (last access: 25.03.2018).

130. Cumashi, A. A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, antiangiogenic and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds / A. Cumashi, N.A. Ushakova, M.E. Preobrazhenskaya. – DOI: 10.1093/glycob/cwm014 // Glycobiology. – 2007. – Vol. 17, iss. 5. – P. 541–552.

131. Daniel, R. Degradation of algal (*Ascophyllum nodosum*) fucoidan by an enzymatic activity contained in digestive glands of the marine mollusc *Pecten maximus* / R. Daniel, O. Berteau, J. Jozefonvicz, N. Goasdoue. – DOI: 10.1016/S0008-6215(99)00223-2 // Carbohydrate research. – 1999. – Vol. 322, iss. 3–4. – P. 291–297.

132. Daniel, R. Electrospray ionization mass spectrometry of oligosaccharides derived from fucoidan of *Ascophyllum nodosum* / R. Daniel, L. Chevolut, M. Carrascal. – DOI: 10.1016/j.carres.2007.01.009 // Carbohydrate research. – 2007. – Vol. 342, iss. 6. – P. 826–834.

133. De la Fuente, M.A. Effects of high-pressure and heat treatment on the mineral balance of goat's milk / M.A. de la Fuente, A. Olano, V. Casal. – DOI: 10.1017/s0022029998003264 // Journal of dairy research. – 1999. – Vol. 66, iss. 1. – P. 65–72.

134. Devlieghere, F. New preservation technologies: possibilities and limitations / F. Devlieghere, L. Vermeiren, J. Debevere. – DOI: 10.1016/j.idairyj.2003.07.002 // International dairy journal. – 2004. – Vol. 14, iss. 4. – P. 273–285.

135. Dinesh, S. In vitro anti-HIV-1 activity of fucoidan from *Sargassum swartzii* / S. Dinesh, T. Menon, L.E. Hanna [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.09.078 // International journal of biological macromolecules. – 2016. – Vol. 82. – P. 83–88.

136. Dische, Z.A. A specific color reaction of methylpentoses and a spectrophotometric micromethod for their determination / Z.A. Dische, L.B. Shettles // Journal of biological chemistry. – 1948. – Vol. 175. – P. 595–603.

137. Etman, S.M. Fucoidan, a natural biopolymer in cancer combating: from edible algae to nanocarrier tailoring / S.M. Etman, Y.S.R. Elnaggar, O.Y. Abdallah. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.191 // International journal of biological macromolecules. – 2020. – Vol. 147. – P. 799–808.

138. Faidi, A. Application of sodium alginate extracted from a Tunisian brown algae *Padinapavonica* for essential oil encapsulation: Microspheres preparation, characterization and in vitro release study / A. Faidi, M.A. Lassoued, M. El H. Becheikh [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.023 // International journal of biological macromolecules. – 2019. – Vol. 136. – P. 386–394.

139. Feldman, S.C. Antiviral properties of fucoidan fractions from *Leathesia difformis* / S.C. Feldman, S. Reynaldi, C.A. Stortz [et al.]. – DOI: 10.1016/s0944-7113(99)80055-5 // *Phytomedicine*. – 1999. – Vol. 6, iss. 5. – P. 335–340.
140. Fletcher, H.R. The seasonal variation of fucoidan within three species of brown macroalgae / H.R. Fletcher, P. Biller, A.B. Ross, J.M.M. Adams. – DOI: 10.1016/j.algal.2016.10.015 // *Algal Research*. – 2017. – Vol. 22. – P. 79–86.
141. Flórez-Fernández, N. Potential of intensification techniques for the extraction and depolymerization of fucoidan / N. Flórez-Fernández, M.D. Torres, M.J. González-Muñoz, H. Domínguez. – DOI: 10.1016/j.algal.2018.01.002 // *Algal Research*. – 2018. – Vol. 30. – P. 128–148.
142. Gawlik-Dziki, U. Phenolic acids prolife and antioxidant properties of bread enriched with sprouted wheat flour / U. Gawlik-Dziki, D. Dziki, W. Pietrzak, R. Nowak. – DOI: 10.1111/jfbc.12386 // *Journal of food biochemistry*. – 2017. – Vol. 41, iss. 4. –
143. Gill, S.K. Immunomodulatory effects of natural polysaccharides assessed in human whole blood culture and THP-1 cells show greater sensitivity of whole blood culture / S.K. Gill, N. Islam, I. Shaw [et al.]. – DOI: 10.1016/j.intimp.2016.05.009 // *International immunopharmacology*. – 2016. – Vol. 36. – P. 315–323.
144. Gimenez, A. Shelf life estimation of brown pan bread: A consumer approach / A. Gimenez, P. Varela, A. Salvador [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodqual.2005.09.017 // *Food Quality and Preference*. – 2007. – Vol. 18, iss. 2. – P. 196–204.
145. Graca, C. Impact of *Chlorella vulgaris* on the rheology of wheat flour dough and bread texture / C. Graca, P. Fradinho, I. Sousa, A. Raymundo. – DOI: 10.1016/j.lwt.2017.11.024 // *LWT*. – 2017. – Vol. 89. – P. 466–474.
146. Graner, C. Effects of Polysaccharide fucoidin on cerebrospinal fluid interleukin-1 and tumor necrosis factor alpha in pneumococcal meningitis in the rabbit / C. Granert, J. Raud, A. Waage, L. Lindquist. – DOI: 10.1128/IAI.67.5.2071-2074.1999 // *Infection and Immunity*. – 1999. – Vol. 67, iss. 5. – P. 2071–2074.
147. Hanjabam, M.D. Isolation of crude fucoidan from *Sargassum wightii* using conventional and ultra-sonication extraction methods / M.D. Hanjabam, A. Kumar, C.S. Tejpal [et al.]. – DOI: 10.1016/j.bcdf.2019.100200 // *Bioactive carbohydrates and*

dietary fibre. – 2019. – Vol. 20. – Art. 100200. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212619819300130> (last access: 01.02.2020).

148. Haroun-Bouhedja, F. Relationship between sulfate groups and biological activities of fucans / F. Haroun-Bouhedja, M. Ellouali, C. Siquin, C. Boisson-Vidal. – DOI: 10.1016/s0049-3848(00)00338-8 // *Thrombosis research*. – 2000. – Vol. 100, iss. 5. – P. 453–459.

149. Hoshino, T. An antivirally active sulfated polysaccharide from *Sargassum homeri* (TURNER) C. AGARDH / T. Hoshino, T. Hayashi, K. Hayashi [et al.]. – DOI: 10.1248/bpb.21.730 // *Biological and pharmaceutical bulletin*. – 1998. – Vol. 21, iss. 7. – P. 730–734.

150. Huang, Y.C. Preparation and characterization of antioxidant nanoparticles composed of chitosan and fucoidan for antibiotics delivery / Y.C. Huang, R.Y. Li. – DOI: 10.3390/md12084379 // *Marine drugs*. – 2014. – Vol. 12, iss. 8. – P. 4379–4398.

151. Iodine Global Network. – URL: <https://www.ign.org> (last access: 03.09.2019).

152. Itoh, H. Antitumor activity and immunological properties of marine algal polysaccharides, especially fucoidan, prepared from *Sargassum thunbergii* of phaeophyceae / H. Itoh, H. Noda, H. Amano [et al.] // *Anticancer research*. – 1993. – Vol. 13, iss. 6. – P. 2045–2052.

153. Jiang, Z. Effects of sulfated fucan ascophyllan from the brown alga *A. nodosum* on various cell lines: a comparative study on ascophyllan and fucoidan / Z. Jiang, T. Okimura, T. Yokose. – DOI: 10.1016/j.jbiosc.2010.01.007 // *Journal of bioscience and bioengineering*. – 2010. – Vol. 110, iss. 1. – P. 113–117.

154. Jiao, G. Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae / G. Jiao, G. Yu, J. Zhang, H.S. Ewart. – DOI: 10.3390/md9020196 // *Marine drugs*. – 2011. – Vol. 9, iss. 2. – P. 196–223.

155. Katayama, S. Immunomodulatory properties of highly viscous polysaccharide extract from the Gagome alga (*Kjellmaniella crassifolia*) / S. Katayama, T. Nishio, H. Kishimura. – DOI: 10.1007/s11130-011-0271-z // *Plant foods for human nutrition*. – 2012. – Vol. 67. – P. 76–81.

156. Kawamoto, H. Effects of fucoidan from *Mozuku* on human stomach cell lines / H. Kawamoto, Y. Miki, T. Kimura. – DOI: 10.3136/fstr.12.218 // Food science and technology research. – 2006. – Vol. 12, iss. 3. – P. 218–222.

157. Kawashima, T. A sulfated polysaccharide, fucoidan, enhances the immunomodulatory effects of lactic acid bacteria / T. Kawashima, K. Murakami, I. Nishimura [et al.]. – DOI: 10.3892/ijmm.2011.854 // International journal of molecular medicine. – 2012. – Vol. 29, iss. 3. – P. 447–453.

158. Koyanagi, S. Oversulfation of fucoidan enhances its anti-angiogenic and antitumor activities / S. Koyanagi, N. Tanigawa, H. Nakagawa [et al.]. – DOI: 10.1016/S0006-2952(02)01478-8 // Biochemical pharmacology. – 2003. – Vol. 65, iss. 2. – P. 173–179.

159. Krasaekoopt, W. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt / W. Krasaekoopt, B. Bhandari, H. Deeth // International dairy journal. – DOI: 10.1016/S0958-6946(02)00155-3. – 2003. – Vol. 13, iss. 1. – P. 3–13.

160. Kylin, H. Zur Biochemie der Meeresalgen / H. Kylin // Zeitschrift für physiologische Chemie. – 1913. – Vol. 83. – S. 171–197.

161. Lahrsen, E. Degradation of eight sulfated polysaccharides extracted from red and brown algae and its impact on structure and pharmacological activities / E. Lahrsen, A.-K. Schoenfeld, S. Alban. – DOI: 10.1021/acsbiomaterials.8b01113 // ACS Biomaterials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 5, iss. 3. – P. 1200–1214.

162. Lahrsen, E. Size-dependent pharmacological activities of differently degraded fucoidan fractions from *Fucus vesiculosus* / E. Lahrsen, A.-K. Schoenfeld, S. Alban. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.02.035 // Carbohydrate polymers. – 2018. – Vol. 189. – P. 162–168.

163. Lasky, L.A. Selectins: interpreters of cell-specific carbohydrate information during inflammation / L.A. Lasky. – DOI: 10.1126/science.1439808 // Science. – 1992. – Vol. 258, iss. 5084. – P. 964–969.

164. Leonard, S.G. Effect of maternal seaweed extract supplementation on suckling piglet growth, humoral immunity, selected microflora, and immune response after an ex vivo lipopolysaccharide challenge / S.G. Leonard, T. Sweeney, B. Bahar,

J.V. O'Doherty. – DOI: 10.2527/jas.2010-3243 // Journal of animal science. – 2012. – Vol. 90, iss. 2. – P. 505–514.

165. Li, B. Fucoidan: structure and bioactivity / B. Li, F. Lu, X. Wei. – DOI: 10.3390/molecules13081671 // Molecules. – 2008. – Vol. 13, iss. 8. – P. 1671–1695.

166. Liu, M. Antibacterial activity and mechanisms of depolymerized fucoidans isolated from *Laminaria japonica* / M. Liu, Y. Liu, M.J. Cao [et al.]. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.05.060 // Carbohydrate polymers. – 2017. – Vol. 172. – P. 294–305.

167. Lüscher-Mattii, M. Polyanions – a lost chance in the fight against HIV and other virus diseases / M. Lüscher-Mattii. – DOI: 10.1177/095632020001100401 // Antiviral chemistry and chemotherapy. – 2000. – Vol. 11, iss. 4. – P. 249–259.

168. Mak, W. Fucoidan from New Zealand *Undaria pinnatifida*: Monthly variations and determination of antioxidant activities / W. Mak, N. Hamid, T. Liu [et al.]. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.02.047 // Carbohydrate polymers. – 2013. – Vol. 95. – P. 606–614.

169. Marudhupandi, T. In vitro antioxidant properties of fucoidan fractions from *Sargassum tenerrimum* / T. Marudhupandi, T.T. Ajith Kumar, S.S. Lakshmana, D.K. Nanthini. – DOI: 10.3923/pjbs.2014.402.407 // Pakistan journal of biological sciences. – 2014. – Vol. 17. – P. 402–407.

170. Mayer, A.M.S. Biological activity in *Macrocystis pyrifera* from Argentina: sodium alginate, fucoidan and laminaran. Antitumor, cytotoxicity and humoral immune response / A.M.S. Mayer, L. Krotz, R.D. Bonfil. – DOI: 10.1007/BF00046172 // Hydrobiologia. – 1987. – Vol. 151/152, iss. 1. – P. 483–489.

171. Mayya, K.S. Preparation and organization of nanoscale polyalactrolyte-coated gold nanoparticles / K.S. Mayya, B. Schoeler, F. Caruso. – DOI: 10.1002/adfm.200390028 // Advanced Functional Materials. – 2003. – Vol. 13, iss. 3. – P. 183–188.

172. McCully, M.E. Histological studies on the genus *Fucus*. II. Histology of the reproductive tissues / M.E. McCully. – DOI: 10.1007/BF01252533 // Protoplasma. – 1968. – Vol. 66. – P. 205–230.

173. Moroney, N.C. Seaweed polysaccharides (laminarin and fucoidan) as functional ingredients in pork meat: An evaluation of anti-oxidative potential, thermal stability and bioaccessibility / N.C. Moroney, M.N. O'Grady, S. Lordan [et al.]. – DOI: 10.3390/md13042447 // *Marine drugs*. – 2015. – Vol. 13, iss. 4. – P. 2447–2464.

174. Morya, V.K. Algal fucoidan: Structural and size-dependent bioactivities and their perspectives / V.K. Morya, J. Kim, E.K. Kim. – DOI: 10.1007/s00253-011-3666-8 // *Applied microbiology and biotechnology*. – 2012. – Vol. 93. – № 1. – P. 71–82.

175. Ordonez, J.A. Effect of combined ultrasonic and heat treatment (thermo ultrasonication) on the survival of a strain of *Staphylococcus aureus* / J.A. Ordoñez, M.A. Aguilera, M.L. Garcia, B. Sanz. – DOI: 10.1017/S0022029900025206 // *Journal of dairy research*. – 1987. – Vol. 54, iss. 1. – P. 61–67.

176. Palanisamy, S. In vitro antioxidant and antibacterial activity of sulfated polysaccharides isolated from *Spatoglossum asperum* / S. Palanisamy, M. Vinosha, T. Marudhupandi [et al.]. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.04.085 // *Carbohydrate polymers*. – 2017. – Vol. 170. – P. 296–304.

177. Plazzotta, S. Exploitation of lettuce waste flour to increase bread functionality: effect on physical, nutritional, sensory properties and on consumer response / S. Plazzotta, S. Sillani, L. Manzocco. – DOI: 10.1111/IJFS.13820 // *International journal of food science and technology*. – 2018. – Vol. 53, iss. 10. – P. 2290–2297.

178. Pomin, V.H. Fucanomics and galactanomics: current status in drug discovery, mechanisms of action and role of the well-defined structures / V.H. Pomin. – DOI: 10.1016/j.bbagen.2012.08.022 // *Biochimica et biophysica acta (BBA) – General Subjects*. – 2012. – Vol. 1820, iss. 12. – P. 1971–1979.

179. Qiu, X.P. Studies on the drug release properties of polysaccharide multilayers encapsulated ibuprofen microparticles / X.P. Qiu, S. Leporatti, E. Donath, H. Möhwald. – DOI: 10.1021/la010201w // *Langmuir*. – 2001. – Vol. 17, iss. 17. – P. 5375–5380.

180. Raso, J. Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound / J. Raso, R. Pagán, S. Condón, F.J. Sala. – DOI: 10.1128/aem.64.2.465-471.1998 // *Applied and environmental microbiology*. – 1998. – Vol. 64, iss. 2. – P. 465–471.

181. Rhimou, B. Antiviral activity of *Rhodophyceae* from Morocco / B. Rhimou, R. Hassane, N. Bourgougnon. – DOI: 10.5897/AJB09.2023 // African journal of biotechnology. – 2010. – Vol. 9. – P. 7968–7975.

182. Rowley, J.A. Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials / J.A. Rowley, G. Madlambayan, D.J. Mooney // Biomaterials. – 1999. – Vol. 20, iss. 1. – P. 45–53.

183. Rozylo, R. Study on the physical and antioxidant properties of gluten-free bread with brown algae / R. Rozylo, H.W. Hameed, U. Gawlik-Dziki [et al.]. – DOI 10.1080/19476337.2016.1236839 // CyTA – Journal of Food. – 2017. – Vol. 15, iss. 2. – P. 196–203.

184. Ryu, M. Fucoidan reduces oxidative stress by regulating the gene expression of HO-1 and SOD-1 through the Nrf2/ERK signaling pathway in HaCaT cells / M. Ryu, H. Chung. – DOI: 10.3892/mmr.2016.5623 // Molecular medicine reports. – 2016. – Vol. 14, iss. 4. – P. 3255–3260.

185. Saccotelli, M.A. Optimization of durum wheat bread enriched with bran / M.A. Saccotelli, A. Conte, K.R. Burrafato. – DOI: 10.1002/fsn3.448 // Food Science & Nutrition. – 2016. – Vol. 5, iss. 3. – P. 689–695.

186. Salazar, D.M. Development of newly enriched bread with quinoa flour and whey / D.M. Salazar, M. Naranjo, L.V. Perez [et al.]. – DOI: 10.1088/1755-1315/77/1/012018 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 77. – Art. 012018. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/77/1/012018> (last access: 20.08.2019).

187. Seng, J.L. Isolation and antioxidant capacity of fucoidan from selected Malaysian seaweeds / J.L. Seng, M.W.A. Wan, M.Y. Maskat [et al.]. – DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.03.007 // Food hydrocolloids. – 2014. – Vol. 42, pt. 2. – P. 280–288.

188. Silva, H.D. Evaluating the behaviour of curcumin nanoemulsions and multilayer nanoemulsions during dynamic in vitro digestion / H.D. Silva, J. Poejo, A.C. Pinheiro [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jff.2018.08.002 // Journal of functional foods. – 2018. – Vol. 48. – P. 605–613.

189. Song, Yu. Structural characterization and antitumor effects of fucoidans from brown algae *Kjellmaniella crassifolia* farmed in northern China / Y. Song, Qiu Wang, Qin Wang [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.07.126 // International journal of biological macromolecules. – 2018. – Vol. 119. – P. 125–133.

190. Speransky, V.V. Ion fluxes and modification of the extracellular matrix during gamete release / V.V. Speransky, S.H. Brawley, M.C. MacCully. – DOI: 10.1046/j.1529-8817.2001.037004555.x // Journal of phycology. – 2001. – Vol. 37, iss. 4. – P. 555–573.

191. Suo, H. Enhanced catalytic performance of lipase covalently bonded on ionic liquids modified magnetic alginate composites / H. Suo, L. Xu, C. Xu [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcis.2019.06.049 // Journal of colloid and interface science. – 2019. – Vol. 553. – P. 494–502.

192. Thinh, P.D. A novel sulfated fucan from Vietnamese sea cucumber *Stichopus variegatus*: Isolation, structure and anticancer activity in vitro / P.D. Thinh, B.M. Ly, R.V. Usoltseva [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.017 // International journal of biological macromolecules. – 2018. – Vol. 117. – P. 1101–1109.

193. Vignesh, S. Marine drugs: implication and future studies / S. Vignesh, A. Raja, R.A. James. – DOI: 10.3923/IJP.2011.22.30 // International journal of pharmacology. – 2011. – Vol. 7, iss. 1. – P. 22–30.

194. Vishchuk, O.S. Sulfated polysaccharides from brown seaweeds *Saccharina japonica* and *Undaria pinnatifida*: Isolation, structural characteristics, and antitumor activity / O.S. Vishchuk, S.P. Ermakova, T.N. Zvyagintseva. – DOI: 10.1016/j.carres.2011.09.034 // Carbohydrate research. – 2011. – Vol. 346, iss. 17. – P. 2769–2776.

195. Vo, T.S. Potential anti-HIV agents from marine resources: an overview / T.S. Vo, S.K. Kim. – DOI: 10.3390/md8122871 // Marine drugs. – 2010. – Vol. 8, iss. 12. – P. 2871–2892.

196. Wang, J. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from *Laminaria japonica* // J. Wang, Q. Zhang, Z. Zhang, Z. Li. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2007.10.003 // International journal of biological macromolecules. – 2008. – Vol. 42, iss 2. – P. 127–132.

197. Wang, J. Potential antioxidant and anticoagulant capacity of low molecular weight fucoidan fractions extracted from *Laminaria japonica* / J. Wang, Q. Zhang, Z. Zhang [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2009.10.015 // International journal of biological macromolecules. – 2010. – Vol. 46, iss. 1. – P. 6–12.

198. Wang, S. Extracts from New Zealand *Undaria pinnatifida* containing fucoxanthin as potential functional biomaterials against cancer in vitro / S. Wang, Y. Li, W. White, J. Lu. – DOI: 10.3390/jfb5020029 // Journal of Functional Biomaterials. – 2014. – Vol. 5, iss. 2. – P. 29–42.

199. Witrouw, M. Sulfated polysaccharides extracted from sea algae as potential antiviral drugs / M. Witrouw, E. De Clercq. – DOI: 10.1016/S0306-3623(96)00563-0 // General pharmacology. – 1997. – Vol. 29, iss. 4. – P. 497–511.

200. Xu, H. Sonochemical synthesis of nanomaterials / H. Xu, B.W. Zeigerand, K.S. Suslick. – DOI: 10.1039/c2cs35282f // Chemical Society Reviews. – 2013. – Vol. 42, iss. 7. – P. 2555–2567.

201. Zghal, M.C. Prediction of bread crumb density by digital image analysis / M.C. Zghal, M.G. Scanlon, H.D. Sapirstein. – DOI: 10.1094/cchem.1999.76.5.734 // Cereal Chemistry. – 1999. – Vol. 76, iss. 5. – P. 734–742.

202. Zhu, W. Antiviral property and mode of action of a sulphated polysaccharide from *Sargassum* patents against herpes simplex virus type 2 / W. Zhu, L.C. Chiu, V.E. Ooi [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2004.02.022 // International Journal of Antimicrobial Agents. – 2004. – Vol. 24, iss. 3. – P. 279–83.

203. Zvyagintseva, T.N. Water-soluble polysaccharides of some brown algae of the Russian Far-East. Structure and biological action of low-molecular mass polyuronans / T.N. Zvyagintseva, N.M. Shevchenko, E.L. Nazarenko [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jembe.2004.12.027 // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2005. – Vol. 320. – P. 123–131.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Документы, отражающие результаты апробации,
производственных испытаний и внедрения результатов работы

Утверждаю:
ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ»

Г.С. Акопян
« 10 » октября 2018



Акт
о проведении производственных испытаний способа изготовления
хлеба из пшеничной муки

на предприятии ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ» проведена экспериментальная проверка технологии изготовления хлеба из пшеничной муки «Анти-стресс» с использованием микроструктурированного комплекса полисахаридов бурых водорослей, представляющего собой БАД к пище «Фуколам-С-сырье», состоящую из фукоидана бурых водорослей *Fucus evanescens* (не менее 60 %) и альгината натрия.

Для выпечки хлеба использовали муку пшеничную хлебопекарную первого сорта, соответствующую требованиям ГОСТ 26574-2017, дрожжи хлебопекарные прессованные по ГОСТ Р 54731-2011, соль пищевую по ГОСТ Р 51574-2018. Водоподготовка проводилась с использованием акустического источника упругих колебаний ультразвукового прибора «Волна» модель УЗТА-0,63/22-ОМ.

Для производственных испытаний изделия были изготовлены безопасным способом согласно утвержденным Рецептуры и Технологической инструкции.

Проведенные производственные испытания показали сохранение качества, повышение содержания йода, а также антиоксидантных свойств хлеба, полученного с использованием микроструктурированного комплекса полисахаридов бурых водорослей.

Промышленное производство, согласно разработанному способу возможно на хлебопекарных предприятиях с целью формирования ассортимента хлебобулочных изделий для здорового питания.

Утверждаю:
ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ»

Г.С. Акопян
« 10 » ич. Октября 2019

Акт

о выработке опытных партий хлеба из пшеничной муки в промышленных условиях ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ»

Настоящий акт составлен о том, что на предприятии ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ» в период с марта 2019 по сентябрь 2019 гг. были выработаны опытные партии хлеба из пшеничной муки «Антистресс».

На предприятии ИП Акопян Г.С. «Хлебный домъ» проведена экспериментальная апробация рецептуры и технологии изготовления хлебобулочных изделий с использованием микроструктурированного комплекса полисахаридов бурых водорослей, разработанных на кафедре «Пищевые и биотехнологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Для производства хлеба из пшеничной муки «Антистресс» использовали сырье, соответствующее требованиям действующей нормативно-технической документации. Пищевые ингредиенты на основе микроструктурированного комплекса полисахаридов бурых водорослей представляли собой растворы или порошки.

Проведенные производственные испытания показали, что использование микроструктурированного комплекса полисахаридов бурых водорослей позволяет получить хлеб, качество которого соответствует установленным требованиям. При этом, увеличивается содержание йода, повышается антиоксидантная активность изделий.

Считаем, что с целью расширения ассортимента данной группы товаров для здорового питания их промышленное производство является целесообразным.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОКПД2 10.71.11.100

группа Н32
(ОКС 67.060)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

д.т.н., доцент, А.В. Коржов



20.05.2020

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО 02066724-020-2020

(введен впервые)

ХЛЕБ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ «АНТИСТРЕСС»

Технические условия

РАЗРАБОТАНО

Зав. кафедрой Пищевые и биотехнологии
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

доктор технических наук, профессор

И.Ю. Потороко

20.05.2020

Аспирант кафедры Пищевые и биотехнологии
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

А.В. Паймулина

20.05.2020

Челябинск
2020

Предисловие

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», д.т.н., профессором И.Ю. Потороко, аспирантом А.В. Паймулиной

2 УТВЕРЖДЕН И ВПЕРВЫЕ ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ с «20» мая 2020 г.

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях (отмене, замене) к настоящему стандарту предоставляется разработчиком в виде листа изменения к стандарту организации. Соответствующая информация также может размещаться в информационной системе общего пользования – на официальном сайте организатора-разработчика стандарта в сети Интернет.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»
д.т.н., доцент, А.В. Коржов

20.05.2020

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству хлеба из пшеничной муки «Антистресс»

ТИ 02066724-020-2020

Дата введения в действие 20.05.2020

РАЗРАБОТАНО

Зав. кафедрой Пищевые и биотехнологии
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

доктор технических наук, профессор

И.Ю. Потороко

20.05.2020

Аспирант кафедры Пищевые и биотехнологии
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

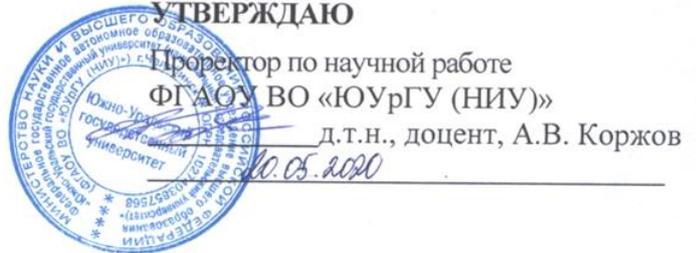
А.В. Паймулина

20.05.2020

Челябинск
2020



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



РЕЦЕПТУРА
хлеба из пшеничной муки «Антистресс»

РЦ 02066724-020-2020

Дата введения в действие 20.05.2020

РАЗРАБОТАНО

Зав. кафедрой Пищевые и биотехнологии
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

доктор технических наук, профессор
И.Ю. Потороко

Аспирант кафедры Пищевые и биотехнологии
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

А.В. Паймулина

Челябинск
2020

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2656892

Способ производства хлеба специализированного назначения

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" (RU)*

Авторы: *Паймулина Анастасия Валерияновна (RU),
Потороко Ирина Юрьевна (RU)*

Заявка № 2017128243

Приоритет изобретения 07 августа 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 07 июня 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 07 августа 2037 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев Г.П. Излиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2668096

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" (RU)*

Авторы: *Худяков Владимир Владимирович (RU), Потороко Ирина Юрьевна (RU), Науменко Наталья Владимировна (RU), Калинина Ирина Валерьевна (RU), Паймуллина Анастасия Валерьяновна (RU), Руськина Алена Александровна (RU)*

Заявка № 2017141350

Приоритет изобретения 27 ноября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 сентября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 27 ноября 2037 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2707872

Способ микронизации фукоидана

Патентообладатель: **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" (RU)**

Авторы: **Паймулина Анастасия Валерияновна (RU), Потороко Ирина Юрьевна (RU), Ускова Дарья Геннадьевна (RU)**

Заявка № 2019115779

Приоритет изобретения 22 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 02 декабря 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 22 мая 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Информированное согласие на участие в исследовании

Настоящим я даю согласие на участие в исследовании лечебно-профилактических свойств хлебобулочных изделий с комплексной растительной добавкой.

Руководитель исследования Анастасия Валерияновна Паймулина.

Место проведения исследования **НОЦ «Медико-психологическая клиника» по адресу ул. Сони Кривой 79 – 4.**

Телефон исследователя _____

Я был осведомлен о следующем:

*о целях данного исследования;

*о тестах, которые будут произведены с целью определения эффекта исследуемого продукта;

*о возможных рисках.

Мною в письменном виде была получена вышеназванная информация и ответы на все мои вопросы.

Я даю согласие на обработку своих персональных данных исследовательской группой при условии сохранения ими конфиденциальности.

Мною были получены гарантии того, что я имею право прекратить участие в испытании и о выбывании из исследования при пропуске приема продукта.

Я даю согласие на то, чтобы данные обо мне были занесены в компьютерный файл, обеспечивающий гарантию защиты лицами, определенными законодательством.

Ф.И.О. участника исследования _____

Возраст _____

Факультет, группа _____

Телефон 1. _____

2. (если есть) _____

Дата «__» _____ 2017 г.

Подпись _____

ФИО исследователя _____

Дата «__» _____ 2017 г.

Подпись _____

Информационный лист для участника исследования

Исследование проводится группой исследователей медиков, психологов и биотехнологов	Если у Вас возникнут вопросы, касающиеся исследования, Вы можете позвонить координаторам исследования (см. в разделе контактные данные).
Цель исследования	Изучение влияния фукоидана в составе хлебобулочных изделий на стресс-резистентность организма человека.
Для участия в настоящем исследовании необходимо	Вы можете принять участие в исследовании, если не имеете хронических заболеваний и Ваш возраст от 18 до 23 лет.
Срок проведения испытания	Ваше участие в исследовании будет продолжаться в период с 27 февраля 2017 г. по 24.03.2017 г. (4 недели, в <u>будние дни с понедельника по пятницу в 13:05 – 13:35</u> в НОЦ «Медико-психологическая клиника» по адресу ул. Сони Кривой 79 - 4). В праздничные дни (08 – 09. 03.2017) исследование проводится <i>не будет</i> . В начале и в конце исследования у вас возьмут образцы крови (обязательно) и волос (по желанию). Также в начале и конце исследования Вам будет предложено заполнить несколько анкет и опросников.
Возможные неудобства и риски	Возможна индивидуальная непереносимость компонентов хлеба, которая может проявиться в аллергической реакции и т.п. Некоторые вопросы интервью, возможно, затрагивают личные темы.
В случае экстренной необходимости обращайтесь	К координаторам исследования (см. в разделе контактные данные). Данное исследование не предполагает чрезвычайных ситуаций, однако в случае возникновения таковых Вам будет оказана помощь.
Ожидаемый эффект от употребления хлеба с комплексной растительной добавкой	Повышение стрессоустойчивости организма на биомолекулярном уровне.
Выгоды	Участие в исследовании не предполагает получение респондентом денежной или материальной компенсации. Однако, информация, полученная в ходе этого исследования, может в будущем принести пользу и Вам, и другим людям. По окончании исследования у Вас будет возможность ознакомиться с общими результатами исследования. Если у Вас возникнет желание ознакомиться со своими индивидуальными результатами, то вы можете обратиться к координаторам исследования по электронному адресу (см. контакты), в теме письма просьба указать «Индивидуальные результаты», в тексте письма необходимо указать ФИО участника.
Стоимость	Вам не придется оплачивать исследуемые препараты, медицинские осмотры, лабораторные тесты и процедуры, которые предусмотрены условиями проведения данного исследования.

<p>Данные о Вашем состоянии являются <i>конфиденциальной информацией</i> и могут быть просмотрены только уполномоченными лицами</p>	<p>Ваше имя, фамилия и данные тестов не будут упомянуты где-либо в связи с теми сведениями, которые вы сообщите. Все результаты будут представляться только в общем массиве, а не индивидуально. Все данные, собранные в ходе исследования, будут доступны только исследовательской группе.</p>
<p>Добровольность участия</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ваше участие в исследовании исключительно добровольно. 2. Вы можете принять решение не участвовать в исследовании сейчас или отказаться продолжать участвовать на любом этапе без каких-либо негативных последствий. Отказ от участия в обязательном порядке обсуждается с организаторами исследования. Их контакты приведены ниже. 3. В любое время прекратить Ваше участие в исследовании может руководитель-исследователь.
<p>Контактные данные координаторов исследования</p>	<p>Если у Вас возникнут вопросы, касающиеся исследования, Вы можете позвонить координаторам исследования: Азбукиной Юлии Владиславовне (89823441595), Кабатаеву Максиму Владимировичу (89193200854), Нургалеевой Алине Артуровне (89049438043), адрес электронной почты: antistress.research@gmail.ru</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Нормативные документы на пищевые ингредиенты, содержащие фукоидан

Документ сгенерирован на сайте www.nevacert.ru (info@nevacert.ru) (812)-240-22-32 (СПб) (499)-703-45-21 (Мск)



**ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(уполномоченный орган Стороны, руководитель, уполномоченного органа, наименование административно-территориального образования)

**СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации**

№ RU.77.99.11.003.E.003153.11.10 от 25.11.2010

На изделие
биологически активная добавка "Фуколам-С" (порошок от 0,5 кг до 5,0 кг)

Настоящее регистрационное удостоверение выдано
ТИБОХ ДВОРАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159 (Российская Федерация)

Производитель
ТИБОХ ДВО РАН, 690022, Приморский край, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159 (адрес производства: Приморский край, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 3) (Российская Федерация)

Номер регистрационного досье № RU.77.99.11.003.E.003153.11.10

Тип использования: в пищевой промышленности при производстве напитков, мясных, кондитерских и хлебобулочных изделий, а также в качестве сырья при производстве биологически активных добавок к пище.

Класс потенциального риска применения медицинского изделия: Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)

Код Общероссийского классификатора продукции для медицинского изделия: экспертное заключение НИИ питания РАМН №72/Э-663/б-10 от 19.08.2010 г.

Приказом Росздравнадзора от 25.11.2010. № _____

Допущено к обращению на территории Российской Федерации.

Руководитель Федеральной службы
По надзору в сфере здравоохранения
Ф.И.О

(печать)
подпись

1

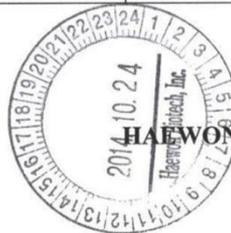
Haewon Biotech, Inc.
Biopolymer & Separation technologies

#602 Sahack Bldg., 113, Sajik-ro, Jongno-gu, Seoul, Korea
TEL: 82-2-391-9797 FAX: 82-2-391-9787
URL: <http://www.fucoidan.co.kr> E-mail: webmaster@fucoidan.co.kr

CERTIFICATE OF ANALYSIS

- Product name : BROWN SEAWEED EXTRACT / Mekabu Fucoidan
- Raw material : *Undaria Pinnatifida*
- Net Wt.: KG
- Lot No.: HWFD-
- Haewon Biotech, Inc.
- Made in Korea

Item	Specification	Results	Test Method
Appearance	White to Brown powder	Light Brown powder	
Taste and Odor	Characteristic	Characteristic	
Total Polysaccharides	60 % Min	68 % Min	100% -(Moisture+Protein+Lipid+Ash)
Organic Sulfate(SO ₄ ²⁻)	25 % Min	25 % Min	Dodgson Method
Protein	4 ~ 7 %	5 % Max	Lowry Method
Moisture	5 ~10 % Max	5 % Max	Convection oven(105℃)
Lipid	0.1 ~ 0.05	0.4 Max	Soxhelt extraction
Ash	20 ~ 30	21.6	Furace at 550℃
Heavy Metals	10ppm Max	10ppm Max	AOAC Method
Arsenic	5ppm Max	2ppm Max	AOAC Method
Total bacteria count	1,000 CFU/g Max	20 CFU	AOAC Method
E. Coli	Negative	Negative	AOAC Method
Salmonella	Negative	Negative	AOAC Method
Fucoidan(%)	85%	93%	Fucoidan 85% Min = Polysaccharides + Organic Sulfate



HAEWON BIOTECH, INC.



Haewon Biotech, Inc.
Biopolymer & Separation technologies

#602 Sahack Bldg., 113, Sajik-ro, Jongno-gu, Seoul, Korea
TEL: 82-2-391-9797 FAX: 82-2-391-9787
URL: <http://www.fucoidan.co.kr> E-mail: webmaster@fucoidan.co.kr

CERTIFICATE OF ANALYSIS

- Product name : BROWN SEAWEED EXTRACT / Kombu Fucoidan
- Raw material : *Laminaria Japonica*
- Net Wt.:
- Lot No : HWFD-
- Haewon Biotech., Inc.
- Made in Korea

Item	Specification	Results	Test Method
Appearance	White to Brown powder	White to Brown powder	
Taste and Odor	Characteristic (seaweed flavor)	Characteristic (seaweed flavor)	
Moisture	5 % Max	5 % Max	Convection(105℃)
Protein	5 % Max	5 % Max	Kjeldahl Method (Conversion factor:6.25)
Lipid	4 % Max	0.5 % Max	Soxhlet extraction
Ash	28 % Min	30 % Max	Furnace at 550℃
Polysaccharides	58 % Min	61.5 % Min	100%- (Moisture+Protein+Lipid+Ash)
Organic Sulfate(SO ₄ ²⁻)	22 % Min	23.5 % Min	Dodgson Method
Heavy Metals	10 ppm Max	10 ppm Max	AOAC Method
Lead(Pb)	2.0 ppm Max	0.0660 mg/kg	
Arsenic	2 ppm Max	2 ppm Max	AOAC Method
Total Plate Count	1,000 CFU/g	37,000/g	
<i>E. Coli</i>	Negative	Negative	AOAC Method
<i>Salmonella</i>	Negative	Negative	AOAC Method
Yeast & Mold plate count	100 CFU/g	0g	



2014. 10. 24
Haewon Biotech, Inc.





International Industrial Certification

Accreditation by the Joint Accreditation System of Australia and New Zealand

www.jas-anz.org/register

HAEWON BIOTECH, INC.

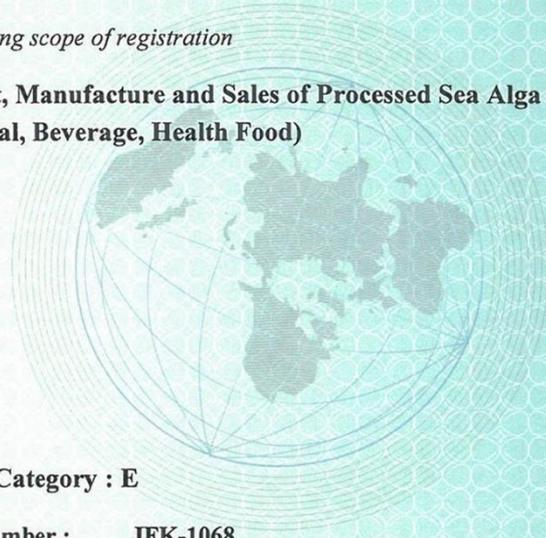
#556, Wolsong-ri, Geumil-eup, Wando-gun, Jeollanam-do, Korea

This is to certify that the Food Safety Management Systems of the above mentioned company meets the requirement of

ISO 22000 : 2005

For the following scope of registration

**Development, Manufacture and Sales of Processed Sea Alga Product
(Raw Material, Beverage, Health Food)**



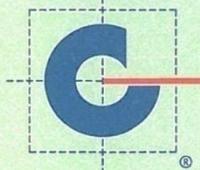
Food Chain Category : E

Certificate Number : JFK-1068
Date of Initial Approval: 23 March 2015
Expiry Date: 22 March 2018

Approved by *H J HAN*
 H. J. HAN, PRESIDENT

This certificate is a property of IIC and valid only if regulatory surveillance audit is conducted within the required time..

JAS-ANZ



(8F, Gayang Technotown), 217, Heojun-Ro,
 Gangseo-Gu, Seoul, Korea
 Tel: +82 (0)2 6097 9001
 Fax: +82 (0)2 6097 9005
www.iicregistrar.com





Certificate of Analysis

Maritech® *Fucus vesiculosus* Extract

Batch number: FVF2014533
 Botanical name: *Fucus vesiculosus*
 Fresh/dry: Dry
 Manufactured: Australia

Common name: Bladderwrack
 Manufacture date: November 2014
 Expiry date: November 2019
 Extract solvent: 100% water

Storage conditions: Store in well sealed containers under cool conditions. Protect from light, moisture and heat.

Test	Specification	Result
Appearance:	Off white to brown powder	Medium brown powder
Odour and taste:	Bland odour and taste	Complies
Moisture:	<10%	8.27%
pH:	4.0 - 7.0 (1% suspension at 25°C)	4.46
Particle size:	80% less than 300 microns	100%
Heavy metals¹:		
Inorganic Arsenic:	< 2 ppm	0.061 ppm
Total Arsenic:	No Specification	3.0 ppm
Lead:	< 1 ppm	0.75 ppm
Mercury:	< 1 ppm	< 0.01 ppm
Cadmium:	< 3 ppm	0.65 ppm
Copper:	No Specification	7.4 ppm
Microbiology:		
Total aerobic microbial count	<10,000 CFU/g	Complies
Yeast and mould count	<100 CFU/g	Complies
Total enterobacteria count	Absent /g	Complies
<i>Escherichia coli</i>	Absent /g	Complies
<i>Salmonella species</i> ¹	Absent /10g	Complies
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absent /g	Complies
Pesticide residues¹:	Complies with USP	Complies
Phytonutrients²:		
Fucoïdan	≥ 90%	93.6%

Notes:
 1. Tested annually
 2. Methods available for review

Quality Approval:

Date:

Dr Sam Karpiniec MRACI CChem
 Senior Chemist

Issued: 01 Dec 2014

Release Approval:

Date:

Dr Damien Stringer MRACI CChem
 Operations Manager



249 Kennedy Drive • Cambridge • Tasmania 7170 • Australia
 phone +61 3 6248 5800 • fax +61 3 6248 4062 • info@marinova.com.au • www.marinova.com.au

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Анкета для исследования потребительских предпочтений
при выборе изделий хлебобулочных

1. Пол

- женский мужской

2. Возраст

- 17–21 22–35 36–50
 51–65 от 66

3. Образование

- высшее
 неоконченное высшее
 среднее профессиональное (техникум, колледж)
 начальное профессиональное (училище)
 полное среднее (11 классов)

4. Род профессиональной деятельности на данный момент

- специалист
 рабочий
 служащий (работник офиса, педагог, врач)
 военнослужащий (армия, милиция, пожарная охрана и т.п.)
 предприниматель
 студент/учащийся
 пенсионер
 домохозяйка/неработающий

5. По Вашему мнению, в городе (районе), где Вы проживаете, экологическая обстановка характеризуется как:

- неблагоприятная, плохая
 скорее неблагоприятная, чем благоприятная
 обычная (как везде), т. е. в чем-то благоприятная, а в чем-то нет
 скорее благоприятная, чем неблагоприятная
 благоприятная, хорошая

6. Как Вы оцениваете изменения состояния экологической обстановки в районе Вашего проживания за последние годы?

- значительно ухудшилось
 скорее ухудшилось, чем улучшилось
 осталось без изменения

- скорее улучшилось, чем ухудшилось
- значительно улучшилось

7. Считаете ли Вы себя здоровым человеком?

- да
- нет (укажите, какое имеете заболевание) _____
- затрудняюсь ответить

8. Знаете ли Вы о том, что употребление функциональных*, обогащенных и специализированных*** продуктов питания способствует профилактике и укреплению здоровья?**

- да
- нет

9. Покупаете ли Вы функциональные, обогащенные или специализированные продукты?

- да (укажите, какие и как часто) _____
- нет

10. Считаете ли Вы целесообразным расширение ассортимента продуктов питания лечебно-профилактического назначения?

- да
- нет
- затрудняюсь ответить

11. Как часто Вы покупаете хлеб и хлебобулочные изделия?

- ежедневно
- через день
- реже 3 раз в неделю
- не употребляю

12. Какие виды хлебобулочных изделий Вы приобретаете чаще всего?

- хлеб пшеничный
- хлеб ржано-пшеничный
- хлеб ржаной
- булочные изделия (батонны, булки, сдобные изделия)

13. Какие факторы являются определяющими при покупке Вами хлеба и хлебобулочных изделий?

- близость торговой точки
- свежесть
- цена
- упаковка
- вкусовая привязанность
- производитель

14. Как Вы считаете, насыщенность торговой сети города хлебом лечебно-профилактического назначения _____

- слабая
- достаточная
- удовлетворительная
- высокая

15. Готовы ли Вы покупать изделия хлебобулочные, обогащенные полисахаридами бурых водорослей, зная, что потребление их способствует профилактике оксидативного стресса и НИЗ**, вызванных нагрузками окружающей среды и йододефицитом?**

- да
- нет
- иногда

Благодарим за ответ!

* Функциональный пищевой продукт – пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

**Обогащенный пищевой продукт – функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких физиологически функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам с целью предотвращения возникновения или исправления имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ.

***Специализированные пищевые продукты – пищевые продукты с заданным химическим составом за счет обогащения, иллиминации или замещения макро- и микронутриентов другими пищевыми компонентами для различных категорий населения (продукты для питания спортсменов, лактирующих и беременных женщин, пожилых лиц, детей и др.).

**** НИЗ – неинфекционные заболевания.