

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

**М.А. Янова, А.И. Гусев**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ КРУП  
МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ**

Красноярск 2015

ББК 36.823

Я 64

*Рецензенты:*

Струпан Е.А., д-р техн. наук, проф. каф. технологии и организации  
общественного питания Сибирского федерального университета  
Мотовилов О.К., д-р техн. наук, директор  
Сибирского научно-исследовательского и технологического института  
переработки сельскохозяйственной продукции

**Янова, М.А.**

Я 64 Технология обогащения круп микроэлементами / М.А. Янова,  
А.И. Гусев; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – 120 с.

ISBN 978-5-94617-346-9

В монографии изложены научно обоснованные организационно-технологические разработки по созданию системы обогащения крупяной продукции с целью обеспечения ее сбалансированности по микроэлементному составу.

Предназначено для научных работников и специалистов перерабатывающей промышленности, а также для магистров и аспирантов.

ББК 36.823

ISBN 978-5-94617-346-9

© Янова М.А., Гусев А.И., 2015

© ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный  
аграрный университет», 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	7
1.1. Характеристика сырья, применяемого для производства крупы...7	
1.2. Применение ультразвука в современной пищевой промышленности.....	11
1.3. Обогащение и функциональные продукты.....	18
1.4. Роль микроэлементов в жизни человека, физиологическая потребность в железе и цинке.....	21
1.5. Минеральные воды как средство повышения биологической ценности крупяных продуктов. Минеральные воды Красноярского края.....	24
Глава 2. Объекты и методы исследования.....	29
Глава 3. Результаты исследований.....	34
3.1. Анализ влияния технологических характеристик на свойства обогащенных крупяных продуктов.....	34
3.2. Определение характеристик полученных экспериментальных крупяных продуктов.....	39
3.3. Математическая обработка результатов и поиск режимов обогащения.....	56
3.4. Обоснование возможности использования природной минеральной воды при производстве обогащенных круп.....	62
3.5. Общие требования для обогащения овсяной и перловой крупы	65
3.6. Режимы обогащения крупяных продуктов при использовании искусственно минерализованной воды с концентрацией элемента 65 мг/л.....	66
3.7. Обогащение крупы железом с использованием природной минеральной воды.....	66
3.8. Установка и принципиальная технологическая схема для обогащения круп.....	83
Заключение.....	86
Литература.....	87
Приложения.....	104
Приложение А.....	104
Приложение Б.....	108
Приложение В.....	110
Приложение Г.....	120

## ВВЕДЕНИЕ

Крупы, изготовленные из различных злаков, с незапамятных времен использовались людьми в пищу в большом количестве. Прошли тысячи лет, но объем потребления крупяных продуктов не только не уменьшается, но и уверенно растет. Движущей силой данному росту служат доступность, большая распространенность и высокая питательная ценность. В настоящий момент каждый человек в мире ежедневно употребляет некоторое количество какой-либо крупы.

Сложно переоценить полезность каш для людей любого возраста. Первую порцию каши человек получает еще в первый год жизни с началом прикорма, и с этого момента крупяные продукты плотно входят в рацион. Так, людям преклонного возраста для нормальной работы перистатики кишечника рекомендуют употреблять крупы, богатые клетчаткой, например, овсяную.

С середины 90-х годов практически во всех странах мира остро встает проблема полноценного (рационального) питания населения. Для России данная проблема приобрела особую актуальность в связи с тяжелой политической обстановкой, сложившейся в конце XX века, и дефицитом всех продуктов питания. В итоге Россия оказалась в числе стран, где наблюдается очень большая нехватка основных питательных веществ, будь то полноценные белки, жиры, углеводы, витамины или минеральные вещества.

Неоднократно проводимые различные исследования показали, что у большинства населения России выявлены нарушения полноценного питания, обусловленные как недостаточным потреблением пищевых веществ, так и нерациональным их соотношением [212]. Не вызывает сомнений, что неотъемлемым атрибутом полноценного рациона питания являются злаковые культуры и продукты их переработки [69, 81, 146]. Именно поэтому в зерноперерабатывающей области значительное внимание уделяется внедрению прогрессивных методов и самого передового оборудования с целью повышения эффективности использования зерна при его переработке.

В настоящее время основными способами обогащения круп являются фортификация, применение прогрессивных агротехнологий и проращивание. Хорошей альтернативой классическим методам обогащения может стать ультразвуковая кавитационная обработка, открывающая широкие возможности для расширения ассортимента зерновых и хлебобулочных изделий с заданными свойствами [24].

В основе предложенной технологии лежит физическое явление – кавитация, которая порождается либо ультразвуком (акустическая), либо гидроимпульсами (ротационная). Акустические кавитационные установки уже находят применение в различных отраслях пищевой промышленности.

Над проблемой внедрения ультразвуковых технологий в пищевую промышленность работали Р.Д. Поландова, Т.П. Волохова, В.Н. Хмелев, Т.В. Шленская, О.Н. Красуля, Б.А. Красуля, В.И. Богуш, Я.П. Артемова, С.Д. Шестаков и др. [153, 154, 156, 157, 160, 161, 172, 173, 182–186, 211]. На сегодняшний день наибольших практических результатов в этом направлении достиг доктор технических наук С.Д. Шестаков. В настоящее время им предложено несколько вариантов использования кавитационной обработки в пищевой промышленности, в том числе кавитационная обработка воды при отволаживании зерна перед помолом или закладке на хранение, введении консервантов в продукты при помощи кавитации и другие. Несмотря на большую проделанную работу, вопрос обогащения крупяных продуктов микроэлементами под воздействием ультразвука остался не достаточно изучен.

В связи с глобальной проблемой острого недостатка минеральных элементов несомненна актуальность получения новых обогащенных крупяных продуктов. Новая технология позволит создавать крупы с заданными характеристиками минерального состава. Инженеры смогут прогнозировать характеристики будущих круп и создавать определенный продукт под определенные задачи.

Из вышеизложенного следует, что разработка новой технологии получения обогащенных крупяных продуктов с использованием ультразвука, а также разработка технологической линии для осуществления данного процесса является актуальной задачей. Решение данной задачи позволит вывести на рынок новые функциональные крупы, которые, несомненно, обогатят рацион потребителей. Кроме того, широкое применение данных круп позволит руководству страны вести профилактические мероприятия по борьбе с хроническими заболеваниями, вызванными нехваткой микроэлементов в рационе питания. Следовательно, разработка технологии получения новых обогащенных крупяных продуктов полностью соответствует целям и задачам, изложенным в «Основах государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения до 2020 года» (№1873-р от 25.10.2010).

Цель работы заключается в разработке технологии обогащения круп с использованием ультразвуковых технологий и технических решений для ее осуществления.

Для успешной реализации поставленной цели были намечены следующие задачи:

- Обосновать возможность использования ультразвуковых технологий для обогащения крупяных продуктов, разработать методику исследований.

- Изучить влияние основных технологических параметров (температуры, продолжительности обработки и частоты ультразвука) на процесс обогащения, а также физико-химические, органолептические, микробиологические показатели обогащенных продуктов.

- Дать математическое описание технологического процесса обогащения круп в зависимости от основных технологических параметров.

- Определить рациональные режимы обогащения, получить обогащенные крупяные продукты с использованием естественной минеральной воды Кожановского месторождения, определить их характеристики.

- Разработать технологическую схему производства обогащенных круп и нормативно-техническую документацию на них.

- Оценить экономическую эффективность представленной технологии.

На основе комплексного исследования технологических, биохимических, органолептических свойств, химического состава обогащенных круп обоснована, экспериментально подтверждена новая технология и предложена технологическая линия получения обогащенных крупяных продуктов в ультразвуковом поле с использованием естественной минеральной и искусственно минерализованной воды. Разработаны математические модели, адекватно описывающие процесс обогащения, позволяющие прогнозировать параметры технологии производства.

## Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Характеристика сырья, применяемого для производства крупы

#### Ячмень и технология его переработки

Ячмень – растение семейства злаковых. Ячмень представлен однолетними и многолетними растениями [8]. Ячмень отличается малой требовательностью к теплу, способностью прорасти при низких температурах (1–2 °С) и имеет короткий вегетационный период. Он хорошо вызревает на севере за короткое лето и на юге до наступления засухи. Посевы ячменя распространены повсеместно – от Крайнего Севера до южных границ.

Зерновка ячменя продолговатая, заостренная с обеих сторон, бороздка – продольная. Поверхность зерна ребристая, часто складчатая. Зерновка обычно пленчатая (срастающаяся с пленками), но встречается и голозерный ячмень. Цветочные пленки состоят из толстостенных одревесневших клеток. Они настолько плотно срастаются с поверхностью зерна, что отделяются с трудом. Цветочные пленки соломенно-желтого и черного, иногда серого цвета.

Пленчатость зерна связана с сортом и условиями произрастания. Она колеблется в пределах от 7 до 17 %, причем высокой считается пленчатость свыше 12 %, низкой – до 10 % [85].

Зерно пленчатого ячменя по химическому составу отличается от пшеницы более высоким содержанием клетчатки и минеральных веществ и меньшим содержанием крахмала и белков. Так как пленки содержат большое количество клетчатки и зольных веществ. Зерно, освобожденное от цветочных пленок, близко по химическому составу к зерну пшеницы [144].

Цвет зерновки после удаления цветочной пленки желтый, светло-коричневый, зеленый или синеватый, что имеет значение для цвета крупы, вырабатываемой из ячменя. Лучшими считаются сорта ячменя, обладающие светлоокрашенными зерновками, и худшими – сорта с зеленовато-синим цветом зерновки (без цветочных пленок). При переработке некоторых сортов ячменя, имеющих зеленовато-синюю окраску зерновки, перловая крупа приобретает неприглядный синеватый и зеленоватый оттенок.

В отличие от других хлебных злаков, у ячменя алейроновый слой состоит из нескольких рядов клеток, что делает крупу, полученную из шелушенного ячменя, грубой. Для удаления алейронового слоя шелушенный ячмень полируют и шлифуют. Эндосперм составляет 63–69 % массы зерна.

По консистенции ячмень бывает стекловидный (частично и полностью) и мучнистый. Для переработки в крупу более ценным является стекловидный ячмень [85].

Содержание белковых веществ в зерне ячменя колеблется от 7 до 25 %. В процентном отношении содержание белка в крупном зерне ячменя всегда меньше по сравнению с мелким. По данным лаборатории биохимии ВИР, содержание отдельных групп белков в зерне ячменя колеблется в значительных пределах в зависимости от места и условий выращивания, а также от сорта. По сумме незаменимых аминокислот белок ячменя хотя и незначителен, но биологически полноценнее, чем белок зерна пшеницы. В белке зерна пшеницы содержание незаменимых аминокислот составляет 28,2 г/ну, а в белке зерна ячменя – 30,56 г/ну (2,3 и 3,4 г/100 г белка) и треонину (2,9 и 3,8 г/100 г белка).

Зерно ячменя широко используется человеком для кормовых, продовольственных и технических нужд, например, в России до 70 % ячменя используется для производства кормов [8]. Из ячменя вырабатывают муку и крупы. Он является основным сырьем для производства пивоваренного солода. Из ячменя вырабатывают и другие продукты, например ячменный кофе [148].

Процессы подготовки зерна к переработке в перловую и ячневую крупу практически одинаковы.

Сначала ячмень попадает в подготовительное отделение, где происходит предварительная очистка от примесей. Для очистки используют его двухкратный пропуск через воздушно-ситовые сепараторы, триеры и аспираторы [21].

Далее происходит процесс шелушения, который является главной особенностью при подготовке зерна ячменя. Для шелушения зерна применяют обоечные и шелушильные машины типа ЗШН [105].

Гидротермическая обработка существенно повышает эффективность шелушения, снижает количество дробленого ядра. Таким образом, гидротермическая обработка может быть включена в схему подготовки ячменя к переработке.

При гидротермической обработке зерновую массу подвергают различным воздействиям воды, тепла и давления. В случае с зерном



ячменя применяют метод холодного кондиционирования: увлажнение и непродолжительное отволаживание, чтобы влага не проникала в глубь зерна. Это облегчает последующее шлифование и отделение оболочек от зерна.

Цель гидротермической обработки при переработке зерна: повысить прочность оболочек, сделав их эластичными [148].

Далее полученный пенсак шлифуют для получения перловой крупы или дробят при переработке в ячневую крупу.

### Овес и технология его переработки

Овес является одной из основных зерновых культур в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке. Широкое распространение овес получил благодаря ценным кормовым и пищевым качествам, стабильности урожая в сложных климатических условиях по сравнению с другими зерновыми культурами. Овес возделывают не только для получения зерна, его широко используют на зеленый корм, сено и силос в смеси с однолетними бобовыми культурами – викой, горохом, пелюшкой, чиной [1, 182].

Овес посевной (*Avena sativa* L.) относится к группе зернофуражных культур. Его используют в кормовых и пищевых целях. Ценность овса и продуктов его переработки связана с особенностями биохимического состава зерна.

Белка в зерне овса содержится 10–15 %, он сбалансирован по аминокислотному составу, на 95–96 % усваивается организмом. Жиров, по сравнению с другими злаками, содержится в 2–3 раза больше (3–11 %), они отличаются высокой переваримостью и усвояемостью, более стойки к окислению. Углеводы представлены в виде крахмала, сахара, клетчатки. Кроме этого, его зерно богато органическими соединениями железа, кальция, марганца, меди, фтора, молибдена и другими микроэлементами. В овсе содержатся витамин Е, витамины группы В, РР, никотиновая кислота.

Из всего произведенного зерна овса в России 91–94 % используется на кормовые цели, 6–9 % идет на переработку для пищевой промышленности. За рубежом использование овса для пищевых целей в 2,5 раза выше.

Овес – растение умеренного климата. Он нетребователен к почве, но влаголюбив.

Содержание белка в зерне овса колеблется от 9,0 до 19,5 %.

Наибольшие колебания по сортам наблюдаются в содержании глобулинов и проламинов, что отражает особенную подвижность этих фракций, связанную с общим биологическим состоянием тканей зерна овса. По фракционному составу белков зерно овса значительно отличается от белков зерна пшеницы, ржи и ячменя. Преобладающая фракция у зерна овса – глютелины, затем проламины и глобулины. Общее содержание белков по сортам колеблется незначительно, а количество отдельных аминокислот, входящих в их состав, – в больших пределах. По содержанию отдельных аминокислот белки зерна овса заметно отличаются от белков зерна пшеницы и ячменя. Для белков зерна овса по сравнению с белками зерна пшеницы и ячменя характерно повышенное содержание аргинина и резко сниженное (в 2,0–2,5 раза) – глютаминовой кислоты. В белках зерна овса отмечено также высокое содержание незаменимой аминокислоты лизина – почти в два раза больше, чем в белках пшеницы. Белки зерна овса характеризуются высокой биологической активностью. Относительная эффективность белка для зерна овса составляет 1,8–2,5; ячменя – 1,6–2,0; пшеницы – 0,9–1,7. По содержанию незаменимых аминокислот белок зерна овса сходен с высоколизиновыми мутантами зерна кукурузы и ячменя. В мировой коллекции найдены образцы зерна овса с содержанием белка свыше 24 %.

Овес используется для производства крупы, некоторых диетических продуктов и продуктов детского питания. Крупа, вырабатываемая из овса, занимает одно из первых мест по питательности среди других видов круп. Овес используют также для кормовых целей и для получения солода в спиртовом производстве. Пищевые и кормовые достоинства определяются его высокой биологической ценностью. В белках овса содержится большое количество незаменимой аминокислоты – лизина (до 8,5 % против 0,8–1,9 % у пшеницы).

Овсяные продукты отличаются высокой пищевой ценностью, из овса вырабатывают овсяную недробленую шлифованную пропаренную крупу, овсяные хлопья «Геркулес», представляющие собой расплюснутые ядра, подвергнутые специальной гидротермической обработке [21].

Первым этапом является подготовка зерна к переработке, для этого оно проходит очистку на воздушно-ситовых сепараторах, триерах и аспираторах. После этого проводят гидротермическую обработку зерна для повышения технологических и потребительских свойств продукта. Гидротермическую обработку зерна проводят в пропарителях непрерывного действия. После пропаривания зерно

сушат, затем шелушат для окончательного отделения от примесей и отправляют на переработку в крупу.

Для переработки зерна в шлифованную крупу крупную и мелкую фракции зерна перерабатывают отдельно. Технологическая схема переработки зерна включает шелушение зерна в шелушильных постовах или обоечных машинах, последующее сортирование продуктов шелушения в центрифугах, аспираторах, падди-машинах.

## **1.2. Применение ультразвука в современной пищевой промышленности**

Современный уровень развития мировой промышленности диктует внедрение самых передовых технологий во все области реального сектора экономики. Пищевая перерабатывающая промышленность во всех странах мира занимает приоритетное место, так как именно она «кормит» население всей планеты. Технологические и инновационные тенденции при производстве продуктов питания должны опираться на новейшие технологии, дающие видимый положительный результат, причем он должен выражаться как в количественных, так и в качественных характеристиках новых производств.

В настоящее время одним из перспективных направлений в пищевой промышленности является внедрение ультразвуковых процессов на различных стадиях производства. Для пищевой промышленности наибольшее значение имеет эффект акустической кавитации, она широко применяется во многих технологических процессах, таких как:

- обработка молока для гомогенизации, стерилизации;
- обработка для увеличения сроков хранения и качества молока в замороженном виде;
- получение высококачественного порошкового молока;
- получение эмульсий для хлебопечения;
- обработка дрожжей, в результате чего на 15 % повышается их бродильная сила;
- получение ароматических веществ, пюре, извлечение жира из печени;
- выделение винного камня;
- экстрагирование растительного и животного сырья;
- дегазация;
- эмульгирование.

Во всех этих случаях воздействие ультразвуковой кавитации обусловлено в основном одним или двумя эффектами, создаваемыми ею. Резонирующие пузырьки действуют как смеситель, увеличивая площадь контакта между двумя жидкостями или между жидкостью и ограничивающей ее поверхностью. Этим путем осуществляются процессы очистки и эмульгирования трудно смешивающихся жидкостей [127].

Ультразвуковая кавитация применяется сравнительно давно, так еще в 1938 году был запатентован метод обработки алкогольной продукции, который давал поразительные результаты: так, например, свежесоставленный ликер после облучения приобретает качества, которые в обычных условиях появляются лишь после многолетнего хранения. Свежеизготовленный коньяк после однократного облучения также приобретает свойства, присущие выдержанному напитку. Ультразвуковое облучение устраняет неприятный привкус сивушных масел, присущих водке [18].

При облучении ультразвуком кипящего пивного сусла белковое вещество коагулирует и выпадает в значительно большей степени, чем при кипячении без облучения. При этом как в содержащем, так и в не содержащем хмель сусле происходит увеличение содержания азотистых производных муравьиной кислоты, активизируются ферменты, из чего можно сделать вывод о расщеплении пептидных связей. При облучении зеленого солода содержание белковых веществ в сухом солоде может возрасти до 40 % [18, 67, 191].

С 1938 года научный прогресс шагнул очень далеко, и ультразвуковая обработка была внедрена не только в алкогольной промышленности. Так, например, С.Д. Шестаков добился больших успехов – им была разработана технология внедрения поваренной соли в мясные продукты, что дало предпосылки процессу отказа от консервантов. Основной идеей, предложенной ученым, было то, что если воду до начала процесса ультразвуковой обработки смешать с животным или растительным белком, то произойдет интенсивная реакция его гидратации – соединения молекул воды с биополимером, прекращения ее «самостоятельного» существования и превращения ее в часть этого белка. Если до или в процессе этого в воде растворить консервант, например, поваренную соль, то она полностью разделится на ионы и будет прочно связана в образующихся водных оболочках белка [184].

Уже сейчас Вологодский мясокомбинат, приобретший лицензию на использование технологии кавитационной обработки рассолов, выпускает мясные продукты с содержанием соли не выше 1,8 г на 100 г, тогда как Европа только еще поставила перед учеными задачу дос-

тигнуть показателя 1,9 г. Традиционное же содержание соли примерно 2,2 г на 100 г продукта [17, 185].

Известна технология для крупяной и мукомольной промышленности, которая сокращает предпомольную подготовку почти в три раза при использовании облученной ультразвуком воды в процессе отволаживания. Кроме убыстрения процессов положительный эффект сказывается и на готовой продукции – хлеб из такой муки не черствеет 72 часа, что значительно больше по сравнению с хлебом, изготовленным из обычной муки [63, 153, 158, 160, 161, 183].

Используется ультразвук и в молочной промышленности – цельное молоко смешивается с сухим и после специальной обработки стабилизируется, а его белковая доля значительно увеличивается [182].

В настоящее время во многих странах с развитым сельским хозяйством наблюдается бум использования кавитационных технологий при приготовлении кормов для крупного рогатого скота, свиней и птиц. Обработанное кормовое сырье обеззараживается, становится более усвояемым и самое главное увеличивает свою массу, теперь при затратах на 10 голов скота можно накормить 12–14 голов, а безопасные с микробиологической точки зрения корма снижают уровень заболеваемости среди животных [17, 154, 156, 157, 185].

При получениях различных экстрактов из плодоовощной продукции и ягод есть смысл применять данные технологии, ведь в результате обработки получают качественные и безопасные вытяжки, которые можно использовать при производстве различных биологически активных добавок.

Процесс изучения и внедрения ультразвуковых технологий развивается с непреодолимой силой. Для пищевой промышленности сформировался ряд направлений, в которых ученые видят положительный эффект – это обработка зерна, мяса для снижения накопления микотоксинов, предпосевная обработка семян, обработка воды для винно-водочной промышленности и другие.

Техника и технологии, работающие на основе ультразвука, используются не только в пищевой промышленности, но и в горном деле, металлообработке, в современной химии, в сельском хозяйстве и др.

Практическое применение ультразвука развивается в двух направлениях:

применение волн малой интенсивности (низкоэнергетические колебания, не приводящие к необратимым изменениям в материалах и телах, через которые они распространяются) для контроля, измерений, исследований внутренней структуры материалов и изделий [13];

применение высокоэнергетических колебаний – волн высокой интенсивности – для активного воздействия на вещества и изменения их структуры и свойств [119].

В своей основной массе приборы, принцип работы которых основан на низкоэнергетических ультразвуковых колебаниях (условно до  $1 \text{ Вт/см}^2$ ), используются для измерения различных показателей сред и систем (плотности, скорости протекания реакции, жирности, температуры), а также для отслеживания расходов рабочих газов и жидкостей.

На сегодняшний день основные процессы, реализуемые и интенсифицируемые при помощи высокоэнергетических ультразвуковых колебаний, принято разделять на три основные подгруппы в зависимости от вида среды, в которой они реализуются (рисунок 1.1) [79, 172, 173].

В зависимости от вида среды процессы условно делятся на процессы в жидких, твердых, термопластичных материалах и газообразных (воздушных) средах [119, 172, 173].



Рисунок 1.1 – Применение высокоэнергетических ультразвуковых колебаний

## Теоретические основы явления кавитации

Явление кавитации было теоретически предсказано Рейнольдсом [210] задолго до того, как его впервые обнаружили при испытаниях эскадренного миноносца английского военно-морского флота «Дэринг» в 1893 году. Скорость миноносца оказалась значительно ниже предполагаемой, что было вызвано ухудшением характеристик винта вследствие возникновения пузырьков пара на его лопастях [209].

Что же такое кавитация, какова природа данного явления? На это счет в литературе встречается несколько разных определений: по мнению Т.М. Башта, – под кавитацией понимается местное выделение из жидкости в зонах пониженного давления ее паров и газов (вскипание жидкости) с последующим разрушением (конденсацией паровых и смыканием газовых) выделившихся парогазовых пузырьков при попадании их в зону повышенного давления. Это разрушение пузырьков сопровождается местными гидравлическими микроударами большой частоты и высокого уровня ударных давлений [15].

В свою очередь Пирсол [127] определяет кавитацию как явление парообразования и выделения воздуха, обусловленное понижением давления в жидкости. Причиной ее возникновения служит кипение жидкости при нормальной температуре и низком давлении.

Некоторые авторы определяют кавитацию как совокупность явлений, характеризующихся движением пузырьков в звуковом поле, вызывающим ряд физико-химических, биологических и других эффектов. Хотя это определение является расплывчатым и излишне широким, в некоторых случаях оно удобно и больше отражает реальные процессы, так как чаще всего разрыв однородной жидкости не происходит [101].

Еще ряд ученых говорит о кавитации как об образовании в жидкости, вследствие резкого уменьшения давления, пузырьков, полостей, заполненных газом или паром. Все ученые сходятся в одном – кавитация наступает тем раньше, чем больше жидкость загрязнена твердыми частицами. Это обусловлено тем, что на поверхностях этих частиц адсорбируется тонкий слой воздуха, частицы которого при попадании в зону пониженного давления служат очагами, способствующими возникновению кавитации. Для возникновения кавитации хватает и одного подобного очага во всем объеме жидкости, а так как реальные жидкости в отличие от идеальных имеют множество включений, то при обработке реальных жидких систем высоким статисти-

ческим давлением неизбежно начинается кавитация. При передаче достаточно небольших количеств энергии одновременно с разрывом жидкости происходит рост уже имеющихся в жидкости пузырьков газов с одновременным увеличением поверхности раздела между кавитационными пузырьками и жидкостью. Все эти пузырьки, образовались ли они при разрыве жидкости или же появились уже из имеющихся очагов, называют кавитационными.

В дальнейшем кавитацией мы будем называть пульсацию, осцилляцию, рост, расщепление и другие типы движения пузырьков, а также их взаимодействие (независимо от производимых ими эффектов) при условиях, когда в жидкости создается пониженное, а затем повышенное давление [24].

Жидкость обычно начинает кипеть, когда над ее свободной поверхностью давление понижается до величины, равной упругости ее насыщенного пара. При отсутствии в жидкости готовой свободной поверхности понижение давления ниже некоторой величины (растяжение жидкости) приводит к разрыву жидкой фазы и появлению парогазовых пузырьков. Если понижение давления осуществляется весьма медленно, процесс образования пузырьков и их дальнейший рост можно рассматривать как обычное кипение. При быстром понижении давления наблюдается разрыв сплошности жидкости и образование пузырьков, т.е. возникает кавитация.

Резкое понижение давления в жидкости, приводящее к возникновению кавитации, может осуществляться различными способами: создание потока жидкости при обтекании препятствия или высокой скорости твердых тел относительно жидкости, быстрый отрыв поршня от жидкости, передача в жидкость ударных нагрузок и т.д. Распространение в жидкости ультразвуковых волн может приводить к возникновению кавитации вследствие создания в жидкости отрицательных давлений.

При гидравлической кавитации парогазовые пузырьки могут достигать больших размеров (порядка пары сантиметров). В отличие от гидродинамической кавитации при распространении акустических волн звуковое давление меняет знак с частотой поля, и поэтому акустическая кавитация характеризуется весьма малыми размерами образующихся пузырьков. Кроме того их движение, устойчивость и другие характеристики резко отличаются от свойств крупных полостей.

Давление внутри образовавшегося кавитационного пузырька в начальный момент весьма мало по сравнению с давлением в жидко-



сти. Жидкость устремляется при этом к его центру, и пузырек схлопывается. В этом случае, так же, как и при фокусировке сходящей ударной волны, осуществляется концентрирование энергии. Радиальная скорость стенки пузырька и давления в нем возрастает по мере уменьшения радиуса пузырька. При схлопывании пузырька в момент достижения минимального размера в центральной области образуется пик давления и в направлении от центра формируется и распространяется в жидкости сферическая ударная волна.

Одна из характерных особенностей ультразвуковой кавитации состоит в том, что она является весьма эффективным механизмом локального концентрирования относительно невысокой средней энергии акустического поля в очень малых объемах, что приводит к созданию исключительно высоких плотностей энергии [24].

В настоящее время многие авторы определяют механизм возникновения звуковой кавитации так: при понижении давления жидкости в какой-либо точке потока до некоторой величины жидкость вскипает (происходит ее разрыв), выделившиеся же пузырьки газа и пара увлекаются потоком и переносятся в область более высокого давления, в которой паровые пузырьки конденсируются, а газовые сжимаются (смыкаются). Так как процесс конденсации парового и сжатия газового пузырька происходит мгновенно, частицы жидкости перемещаются к его центру с большой скоростью, в результате кинетическая энергия соударяющихся частиц вызывает в момент смыкания пузырьков местные гидравлические микроудары, сопровождающиеся высокими забросами давления и температуры в центрах пузырьков (по расчетам температуры могут достигать значений 1000–10000° С и местное давление может достигать 1500–2000 кг/см<sup>2</sup>). Соотношение содержания газа и пара в полости может быть различным (теоретически от нуля до единицы). В зависимости от концентрации пара или газа в полости их называют паровыми или газовыми [5–7, 9, 20, 82, 96, 99, 100, 127, 139, 143, 164, 169, 170, 187, 208].

Рассматривая кавитацию как явление, можно с твердой уверенностью говорить о том, что наиболее часто встречаются (применяется) два основных ее вида – акустическая (вызванная ультразвуком) и гидродинамическая (вызванная механическим ударом). В литературе встречаются и более редкие факторы, которые могут вызвать данное явление (взрыв металлической нити в жидкости под воздействием электрического тока, детонация взрывчатых веществ при ударе и др.), но в современной технике и технологиях широкого применения они не получили.

### 1.3. Обогащение и функциональные продукты

Перспективным направлением в области здорового питания является разработка продуктов с функциональными свойствами, предназначенных для укрепления защитных функций организма, снижения риска воздействия вредных веществ и т.д., в том числе для населения экологически неблагоприятных зон.

Перед пищевой индустрией стоит задача производства качественно новых, экологически безопасных пищевых продуктов с повышенной пищевой ценностью, потребление которых будет способствовать сохранению и укреплению здоровья населения, профилактике заболеваний, связанных с неправильным питанием [138].

Практика обогащения пищевых продуктов микронутриентами началась в США в конце 1920-х гг. с йодирования поваренной соли. В 1938 году приняты нормы обогащения муки тиамином, рибофлавином, ниацином и железом. В 1943 году в США был принят закон, обязывающий проводить витаминизацию муки с добавлением железа. В нашей стране также есть опыт обогащения пищевых продуктов массового потребления. Основой для введения витаминизации муки был тезис о необходимости восполнения тех потерь витаминов, которые происходят при размолотии зерна и отделении отрубей.

Выбор конкретных пищевых веществ для обогащения продуктов питания определяется, прежде всего, наличием проблемы дефицита этих нутриентов среди населения. Необходимо использовать те микронутриенты, дефицит которых реально имеет место, достаточно широко распространен и наносит вред здоровью. К числу таких микронутриентов следует отнести в первую очередь витамин С, витамины группы В, фолиевую кислоту, а из минеральных веществ – йод, железо, кальций, цинк, медь, кобальт, марганец [76, 102, 103, 107].

Обогащение пищевых продуктов микронутриентами предусматривает либо восполнение потерь в процессе технологической обработки и переработки, либо дополнительное введение микронутриентов в продукты, в естественных условиях их не содержащих, либо сочетание этих двух подходов.

При выборе продуктов питания, подлежащих обогащению микронутриентами, следует руководствоваться национальными особенностями потребления того или иного пищевого продукта. Кроме того, продукт должен потребляться регулярно и быть универсальным, производиться промышленным путем. Необходимо учитывать возмож-

ность равномерного распределения питательных веществ в массе продукта и обеспечение соответствующей стабильности и биодоступности микронутриентов, а также возможность химического взаимодействия обогащающей добавки с другими компонентами [95, 150, 178].

Помимо выполнения основных функций, органолептические характеристики пищевого продукта не должны снижаться. Продукт должен доставлять потребителю положительные эмоции, благодаря приятному сочетанию вкуса, цвета, аромата [68, 80, 95, 150].

Для решения этих задач в настоящее время используются следующие методические подходы:

1. Обогащение (fortification) готовых продуктов витаминно-минеральными комплексами (премиксами) и фитохимическими соединениями. Аналогом этого способа является выпуск премиксов-обогащителей в форме биологически активных добавок, в этом случае потребитель сам вносит их в рацион в соответствии со своими предпочтениями и желаемой дозировкой [132]. В разных странах распространение данных продуктов питания варьируется, так, например, в США они входят в рацион 70 % населения, в то же время в России потребителями обогащенных продуктов и БАД являются не более 15 % [132].

2. Применение агротехнологий, обеспечивающих включение в питание растений дополнительных микроэлементов [168, 197]. Известно, что потребление растением микроэлементов составляет не более 1 % от содержания их в почвах. Для повышения уровня минералов в растении используется, например, такая методика, как опрыскивание листьев [132].

3. Разработка и внедрение агротехнологий, направленных на изменение метаболизма растений с целью регуляции уровня включения содержащихся в почве макро- и микроэлементов и трансформации их в биодоступные для организма человека и животных органо-минеральные комплексы и фитохимические соединения. Это направление, получившее название биообогащение (biofortification), активно реализуется Международным институтом изучения проблем питания (Вашингтон) в рамках международной программы «Harvest Plus» [201]. Основной технологией биообогащения является технология получения новых генномодифицированных сортов растений.

В последнее время все большее распространение получают технологии изготовления крупяных и хлебобулочных изделий с повышенными биологическими и питательными показателями.

Для пищевой переработки и возможности технологически обогатить продукт основной интерес представляет процесс фортификации. В связи с этим рассмотрим способы повышения пищевой и биологической ценности круп, существующие в настоящее время. Их условно можно разделить на четыре группы:

- Обработка (добавление) в готовую крупу различных сбалансированных препаратов (премиксов) с известным количеством минеральных веществ и витаминов с последующим равномерным распределением их в объеме.

- Внесение в крупяные продукты различных кусочков фруктов, овощей, ягод, а также соков и экстрактов, полученных из них.

- Проращивание.

- Различные физические воздействия на сырье (экструдирование, прожаривание, пропаривание, барометрическая обработка и т.д.).

Рассмотрим положительные и отрицательные стороны данных методов.

В настоящее время именно первый способ – самый популярный в обогащении различных продуктов из зерна, он дает положительный эффект при сравнительно простой технологии внесения. Но для крупяных продуктов этот способ не всегда является оптимальным, лучше всего он применим для мелкодисперсных продуктов, например манная или ячневая крупа, для овсяной крупы он не совсем подходит в связи с довольно крупными ее составляющими. Если обогащать данный продукт этим способом, то произойдет своего рода процесс самосортирования и однородности обогащения не получится [133, 136, 149, 152].

Второй способ более традиционен, ведь еще в античности люди готовили каши с добавлением овощей и фруктов. Способ безопасен и прост, а его технология практически не требует дополнительного оборудования, но сухофрукты – материал не постоянный. Они являются сложными объектами, в которых протекают биохимические процессы, создающие дополнительный риск для долгосрочного хранения круп, кроме того практически невозможно добиться желаемого четкого эффекта и заданных характеристик [12, 116, 142].

Проращивание. Проращивать зерно для пищевых целей люди начали давно, но научное обоснование этот способ получил сравнительно недавно. При проращивании в зерне злаковых активизируются ферменты, вырабатываются витамины, увеличивается количество незаменимых аминокислот. В результате они могут выступать как са-

мостоятельный продукт, так и отличное сырье для обогащения других. Единственным недостатком является короткий срок хранения полученных продуктов [202–204].

Четвертый способ не является способом как таковым, он представляет собой целую группу решений для поставленных задач. Причем методы воздействия могут выступать как в комплексе, так и представлять собой всего лишь один процесс обработки. Главным недостатком является большое количество дополнительного оборудования и технологическая сложность. Таким образом, в настоящее время именно этот способ представляет наибольший научный интерес среди ученых и технологов, работающих в сфере создания обогащенных продуктов питания [70–72, 104, 123, 151, 155, 159, 179].

Современный уровень развития науки и техники позволяет разработать и ввести в крупяные производства эффективные технологии акустической кавитационной обработки с получением новых продуктов.

Проанализировав представленные данные, можно говорить о том, что полезные свойства обогащенных круп, полученных при помощи кавитационной обработки в естественных минеральных или искусственно минерализованных водах, обусловлены присутствием повышенного содержания дефицитных микроэлементов, будут являться важным звеном сбалансированного рациона человека.

#### **1.4. Роль микроэлементов в жизни человека, физиологическая потребность в железе и цинке**

Среди пищевых факторов, имеющих особое значение для поддержания здоровья, работоспособности и активного долголетия человека, важнейшая роль принадлежит микронутриентам – витаминам и жизненно важным минеральным веществам; огромное значение имеет полноценное и регулярное снабжение ими организма. Постоянный контроль за микронутриентным статусом различных групп населения, разработка, осуществление и оценка эффективности крупномасштабных программ, направленных на коррекцию и профилактику имеющихся дефицитов, оптимизацию качественного и количественного состава пищевых продуктов, получаемых основной массой населения, – важнейшая задача современной профилактической медицины [88].

В настоящее время с помощью новейших методов определения в организме человека и животных находят все известные химические элементы и их изотопы [22, 126].

Микроэлементы – это большая группа химических элементов, которые содержатся в организме человека и животных в очень малых количествах, в пределах  $10^{-3}$ – $10^{-12}$  %. Резко отличаясь друг от друга по своим физико-химическим свойствам и биологическому действию, они вместе с тем не имеют какой-либо общей химической характеристики, которая давала бы возможность отличить их от макроэлементов [3].

Микроэлементы играют важную роль для организма человека. Избыток, дефицит, дисбаланс микроэлементов могут привести к развитию заболеваний, они участвуют в регулировании всех жизненных функций организма, входят в состав важнейших ферментов, витаминов, органических кислот и т.д. Выделяют две группы микроэлементов: эссенциальные и токсичные. К эссенциальным микроэлементам относят – Fe, Cu, Zn, Cr, Se, Mo, J, Co; условно эссенциальным – As, B, Br, F, Li, Ni, Si, V. При их отсутствии или недостаточном поступлении организм перестает расти и развиваться, не может осуществить репродуктивную функцию. Токсичные микроэлементы при попадании в организм вызывают интоксикацию. Стоит отметить, что эссенциальные микроэлементы при определенных условиях могут вызвать токсическую реакцию, а токсичные – могут обнаруживать свойства эссенциальных. В связи с этим важно знать суточную потребность организма в микроэлементах. Патологические состояния, вызванные избытком, недостатком или дисбалансом микроэлементов, называются микроэлементами [4, 23, 93].

Далее рассмотрим влияние роль важнейших микроэлементов на примере цинка и железа.

Известно, что цинк является одним из важнейших элементов организма человека и жизненно необходим для всех форм жизни [121, 140].

Цинк является широко распространенным в природе элементом, его содержание в земной коре составляет  $(1,0–2,0) \cdot 10^{-2}$  % (по массе). По содержанию в теле человека цинк относится к группе микроэлементов. Тело взрослого человека содержит около 2 г цинка.

Значимость цинка для организма обусловлена его присутствием в составе более 100 наиболее значимых ферментов. Известно, что цинко-содержащие ферменты занимают одну из решающих позиций при расщеплении белков, эфиров, углеводов и некоторых других органических соединений, принимают участие в иммунной, репродуктивной функции, присутствуют в большей части клеток [3, 65, 108, 125, 199, 200].

Элемент участвует в защите организма от токсичных микроэлементов, это связано с тем, что ионы цинка активно стимулируют выработку металлопротеина. Так, с увеличением в организме цинка

происходит последовательное возрастание содержания металлоидов, последний в свою очередь активно связывает ионы меди, ртути, кадмия, уменьшая их токсическое действие [134].

Также известно, что цинк влияет на работу различных рецепторов организма и на умственную деятельность. Считается, что существует определенная связь между умственными и физическими способностями человека и содержанием цинка в его организме [125].

В трудах ряда авторов находится информация об активном участии цинка в костеобразовании, работе щитовидной железы, поджелудочной железы, сперматогенезе, наряду с селеном и марганцем он участвует в защите печеночных мембран, имеет эссенциальное значение для головного мозга [10, 11, 181, 188, 189].

Дефицит цинка довольно трудно выявить и оценить из-за отсутствия надежных методик и способов, а определение элемента в крови, волосах, отходах жизнедеятельности и т.д. может характеризовать дефицит только на поздних стадиях [213]. Международная консультативная группа по цинку в питании оценивает риск его дефицита по расчетному потреблению этого элемента и по встречающимся задержкам в росте [122].

Дефицит цинка может быть вызван нарушением работы щитовидной железы, заболеваниями печени, плохим усвоением из пищи, недостатком в рационе, повышенное количество цинка требуется при беременности, физических нагрузках, стрессах, больших потерях при диарее, а также слишком большим количеством фитина в продуктах питания (фитин связывает цинк, затрудняя его усвоение). Большое количество кадмия в пище может оказать негативное влияние, так как кадмий способен вытеснять цинк из организма. Алкоголь понижает уровень цинка в организме, особенно в мышцах и плазме крови. Для лучшего усвоения цинка организмом необходимы витамины А и В6 [145].

Стоит отметить, что негативное влияние дефицита цинка на здоровье зависит от возраста человека. Так в детском возрасте основными признаками дефицита являются медленная прибавка в весе, диарея, анорексии, неврологические нарушения, кожные изменения, замедление в росте [122, 194]. Некоторые авторы говорят о снижении смертности среди детей в раннем возрасте после включения в рацион цинка [195, 207].

Железо – широко распространенный в природе элемент, ранее его относили к макроэлементам в связи с относительно высоким содержанием в организме, однако, если исключить гемоглобинное же-

лезо, составляющее 75–80% от его общего количества, то концентрация этого элемента в тканях окажется меньшей, чем у цинка. Оно является обязательным и незаменимым компонентом различных белков и ферментных систем, обеспечивающих необходимый уровень системного и клеточного аэробного метаболизма, а также окислительно-восстановительного гомеостаза организма человека [3, 92].

Все железо в организме человека связано с белками. Один из наиважнейших железистых белков – гемоглобин, который вместе с миоглобином составляет до 95 % функционального железа в организме. Их основная роль – участие в процессах доставки к тканям кислорода и удаления из них углекислого газа. Кроме гемоглобина, большую роль имеют гемовые и негемовые ферменты, участвующие в энергетическом метаболизме, а также ферменты, участвующие в иммунной защите [122, 192, 193].

Дефицит железа является наиболее часто встречаемым нарушением в питании, так, по данным ВОЗ, на сегодняшний день около 1 миллиарда человек на земле страдает железодефицитной анемией. Считается, что дефицит железа присущ еще около 1 миллиарду человек, но без признаков анемии [122]. Кроме того, при дефиците железа усиливается абсорбция некоторых тяжелых металлов, например, свинца в желудочно-кишечном тракте [86].

В литературе указывается на некоторые достижения в области производства продуктов, обогащенных железом. В ряде источников говорится, что у людей, употреблявших обогащенные железом продукты, такие как мука, рис, кукуруза, соль, соусы, молоко, фруктовое пюре, наблюдалось улучшение в обеспеченности организма этим элементом [122, 147, 196, 198, 205, 214].

Следует подчеркнуть, что при борьбе с дефицитом железа стоит учитывать возможные негативные последствия от его избытка, например, гемахроматоз, талассемия и др.

### **1.5. Минеральные воды как средство повышения биологической ценности крупяных продуктов. Минеральные воды Красноярского края**

К минеральным водам относятся подземные (иногда поверхностные) воды, характеризующиеся повышенным содержанием биологически активных компонентов и обладающие специфическими физико-химическими свойствами (химический состав, температура, радиоактивность и т.д.) [91].



Минеральные воды в широком понимании слова – это подземные и поверхностные природные воды с общей минерализацией свыше 1 г/л, которые используются в лечебных и промышленных целях. Лечебными называются такие воды, которые вследствие своих физических и химических особенностей оказывают благотворное целебное воздействие на человеческий организм: например, углекислые, сероводородные и др. К промышленно ценным относятся воды, из которых могут быть извлечены компоненты, полезные в народном хозяйстве (поваренная соль, бром, йод, бор и др.).

Для отнесения природных вод к минеральным разработаны специальные критерии [74]. При отборе критериев оценки минеральных вод из значительного количества данных, характеризующих их химические и физические свойства, были отобраны важнейшие, определяющие физиологическое, а следовательно, лечебное действие вод, а также важные в отношении выявления их генетических типов. К числу таких критериев были отнесены: содержание в них солей, находящихся в ионизированном состоянии, газовый состав, повышенное содержание биологически активных веществ (углекислота, сероводород или гидросульфид, бром, йод, железо, мышьяк, органические вещества). Самыми значимыми физико-химическими показателями минеральных вод можно считать уровень минерализации, основной ионный состав, содержание специфических компонентов, в том числе микроэлементов, температура вод и радиоактивность [137, 175, 177].

Лечебные свойства природных вод нередко бывают обусловлены присутствием в них в небольшом количестве таких компонентов, которые оказывают на организм человека терапевтическое активное «специфическое» влияние и способствует исцелению от недугов. Эти вещества получили название физиологически активных, или специфических (I, Br и др.).

Минеральная вода как полезное ископаемое – это такая вода, которую можно непосредственно использовать в лечебном деле или для извлечения из нее компонентов, полезных для народного хозяйства – солей, металлов (Cu), металлоидов (I, Br, B), газов (углекислоты) или в теплоэнергетическом деле для теплофикации. Только после изучения химических, физических и прочих свойств природной воды можно решить вопрос о том, рассматривать ее как полезное ископаемое или нет.

Формирование состава минеральных вод протекает в различной геологической обстановке, в условиях растворения и осаждения солей, обменно-адсорбционных явлений, процессов диффузии и др.

Большое влияние на изменение состава вод оказывают и биохимические процессы, протекающие при деятельном участии микробов [73].

При выходе на земную поверхность минеральная вода вследствие изменения термодинамических условий (температуры, давления) претерпевает глубокие изменения.

Значительная часть газов, находящихся в минеральной воде, начинает выделяться в атмосферу путем диффузии; в результате нарушается сульфидно-карбонатное равновесие, изменяется окислительно-восстановительный потенциал, рН, выпадают карбонаты.

При свободном доступе воздуха к минеральной воде некоторые ионы и их соединения могут окисляться и в результате появляются новые ионы и соединения.

Прослеживая в региональном плане взаимосвязь химического и газового состава минеральных вод, можно выделить территории, в пределах которых распространены определенные типы минеральных вод с характерным химическим и газовым составом. Данная закономерность существует по причине того, что в формировании химического состава минеральных вод основную роль играют история геологического развития региона, геологическая среда, геоструктура, гидрометеорологические и гидродинамические факторы, которые, воздействуя на отдельные локализованные участки природных вод, видоизменяют их химический состав [73].

Оздоровляющее действие минеральной воды на организм человека, ее лечебные свойства известны людям с глубокой древности. Лечебные водные процедуры, по свидетельству дошедших до нас письменных памятников, широко применялись в медицине Древней Греции, Рима, Индии, Египта, Перу, Грузии. Древнегреческий врач Гиппократ (460–370 лет до н.э.) пытался объяснить действие минеральных вод на организм человека. Действие целебных вод интересовало и гениального ученого средневековья Абу-Али Ибн Сину (Авиценна). Однако в то время в полной мере оценить целебные свойства минеральных вод люди не могли и этим ловко пользовались священнослужители, приписывая их свойства божественной силе. Многие современные ученые изучали воздействие различных минеральных вод на организм человека, так, в современной литературе представлены труды с результатами лечения и профилактики различных заболеваний с помощью минеральных вод [2, 16, 17, 19, 64, 75, 83, 87, 90, 94, 98, 106, 115, 118, 120, 163, 176 и др.].

Терапевтическая активность многих минеральных вод связана с наличием в их составе микроэлементов – Fe, As, Co, I, Br, органиче-

ских кислот и др. Они входят в состав ряда веществ, жизненно важных для организма, таких как гемоглобин (Fe, Co), некоторые гормоны (Zn), ферменты (Fe, Mn, Cu и др.), витамины (Co). Поэтому, например, железистые воды благотворно влияют на процессы кроветворения, йодистые – улучшают работу щитовидной железы и печени, бромные – нормализуют центральную нервную систему. Многие ученые исследовали действие различных вод на желудочно-кишечный тракт, организм человека. Перспективность и эффективность использования минеральных вод для лечения больных желудочно-кишечными заболеваниями доказывают клинико-экспериментальные исследования, проведенные еще в 70-х и 80-х годах XX века [98].

Минеральная вода – натуральный продукт, включающий в себя многие вещества, необходимые для поддержания здоровья и развития организма. Она благоприятно воздействует на пищеварительную систему человека, а также восполняет нехватку тех или иных микроэлементов. Несомненно, в недалеком будущем технологии с использованием минеральных вод должны твердо укрепиться в пищевых производствах.

Красноярский край богат минеральными подземными водами, а современный отбор их пока относительно мал. Так, на природоресурсном рынке края минеральные подземные воды пользуются спросом в основном только в качестве лечебных и лечебно-столовых, хотя во многих местах они могут разрабатываться и как промышленные, благодаря растворенным в них ценным химическим элементам и солям.

Сегодня на территории Красноярского края разведано 9 месторождений минеральных лечебных вод с утвержденными запасами ГКЗ и ТКЗ [89, 90]. На территории Красноярского края распространены различные типы минеральных подземных вод – от маломинерализованных до высокоминерализованных и рассольных. Лечебные свойства этих вод обусловлены одним или несколькими медико-биологическими факторами, такими как общая минерализация, химический и газовый состав, в том числе повышенное содержание биологически активных компонентов (углекислый газ, железо, йод, бром, сероводород, органические вещества и др.) и специфические свойства (радиоактивность, реакция среды, температура).

По преобладающим типам минеральных вод территория края четко подразделяется на две крупнейшие провинции: архей-протерозойские и палеозойские горно-складчатые сооружения Алтай-Саянской области и Енисейского кряжа, а также артезианские плат-

форменные и крупные межгорные бассейны. В горно-складчатых районах месторождения минеральных вод (углекислые, радоновые и др.) имеют локальный характер, локализованы обычно в трещинных и трещинно-жильных водоносных зонах тектонических нарушений. Ресурсы, как правило, ограничены, хотя и могут быть достаточными для обеспечения довольно крупных курортов, каким является, например, кардиологический санаторий Красноярское Загорье, построенный в 1982 году на базе Кожановского месторождения углекислых железистых вод.

Для толщ осадочных пород артезианских бассейнов характерны пластовые типы залежей минеральных вод, потенциальные ресурсы здесь могут быть весьма значительными. При этом в платформенных частях более четко прослеживается вертикальная гидрохимическая зональность – переход сверху вниз по разрезу от слабоминерализованных вод к сверхкрепким хлоридным и сульфатным натриево-кальциевым рассолам, как это особенно присуще Тунгусскому и Ангаро-Ленскому артезианским бассейнам.

В одной точке, таким образом, можно получить одновременно несколько типов минеральных вод – лечебно-питьевых и бальнеологических (для лечебных ванн), что позволяет организовать их многопрофильное использование в лечебно-оздоровительных целях. Если же учесть еще и реальную возможность использовать глубинные рассолы в качестве промышленных и теплоэнергетических, то комплексность, а значит, и инвестиционная привлекательность участков может быть значительно повышена.

В настоящее время на территории края для обеспечения деятельности санаторно-курортных учреждений эксплуатируются 4 месторождения минеральных вод: Кожановское в Балахтинском районе, Нанжувское в 10 км северо-западнее Красноярска, Тагарское в Минусинском районе и Учумское в Ужурском районе (для сравнения: на территории России в эксплуатации находятся 700 месторождений и участков, из которых 75 % – в европейской части страны) [90].

Исходя из вышесказанного можно заключить: ресурсная база минеральных вод Красноярского края дает широкую возможность для применения водных минеральных ресурсов в производстве обогащенных крупяных продуктов.

## Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью повышения содержания микро- и макроэлементов в крупяных продуктах, а следовательно, и получения новых функциональных продуктов (круп), была разработана новая технология обогащения методом ультразвуковой кавитационной обработки крупы естественными и искусственными минеральными водами, проведены исследования качественных характеристик нового продукта и разработаны рекомендации по его применению.

Для проведения исследований использовались образцы овсяной и перловой крупы, произведенной ОАО «Пава», вода бидистиллированная, вода минеральная Кожановского месторождения.

Исследуемая перловая и овсяная крупа соответствовала ТУ 9294-005-54844059-02 [166] и ТУ 9294-007-54844059-02 [167] соответственно.

Вода бидистиллированная, используемая для приготовления минерального обогатителя, соответствовала ГОСТ 6709-72 [62].

Вода минеральная Кожановского месторождения соответствовала ГОСТ Р 54316-2011 [60].

Анализ крупы, используемой в качестве сырья для получения обогащенных крупяных продуктов, проводили в соответствии с ТУ 9294-005-54844059-02 [166] для перловой и ТУ 9294-007-54844059-02 [167] для овсяной круп. Полученные результаты представлены в таблице 2.1. Исследования обогащенных круп, за исключением определения содержания сырого белка, производили после их сушки до влажности 7 %, сушку производили в сушильных шкафах при температурах, не превышающих 60 °С.

При анализе использовались только современные методы и методики, используемые ведущими лабораториями Красноярского края. Список используемых методик приведен ниже:

- 1) отбор проб крупы – по ГОСТ 26312.1-84 [37];
- 2) определение органолептических показателей – по ГОСТ 26312.2-84 [38];
- 3) определение влажности по – по ГОСТ 26312.7-88 [42];
- 4) определение металломагнитной примеси – по ГОСТ 20239-74 [32];

- 5) определение зараженности вредителями – по ГОСТ 26312.3-84 [39];
- 6) определение дробленых ядер и мучки – по ГОСТ 26312.4-84 [40];
- 7) определение сорной примеси, испорченных ядер и нашелушенных зерен для овсяной крупы, а также содержание в крупах обработанных зерен пшеницы, полбы, ржи, ячменя (для овсянки) и овса (для перловки) производили по методике, изложенной в ГОСТ 26312.4-84 [40];
- 8) определение хлорорганических пестицидов – по МУ 2142-80 [110];
- 9) определение остаточных количеств 2,4-Д – по МУК 4.1.1132-02.
- 10) ртутьорганические пестициды – по МУ 5178-90 [111];
- 11) определение микотоксинов – по МУК 5-1-14/1001 [114];
- 12) определение радионуклидов – по МУК 2.6.2.717-98 [112];
- 13) микро- и макроэлементы определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии – по ГОСТ 30178-96 [49];
- 14) определение зольности – по ГОСТ 26312.5-84 [41];
- 15) определение общего азота с пересчетом на белок – по методу Кьельдаля [46];
- 16) содержание крахмала – по ГОСТ 10845-98 [26];
- 17) определение количества редуцирующих сахаров – по методу Бертрана [53];
- 18) содержание декстринов определяли фотоэлектроколориметрическим методом М.П. Попова и Е.Д. Шаенко;
- 19) определение жира осуществляли по ГОСТ 29033-99 [48];
- 20) определение кислотности – по ГОСТ 26971-86 [47];
- 21) определение сырой клетчатки – по ГОСТ 13496.2-91 [27];
- 22) развариваемость крупы определяли по ГОСТ 26312.2-84 [38];
- 23) отбор проб воды вели по ГОСТ 24481-80 [36];
- 24) органолептические показатели воды определяли в соответствии с ГОСТ 23268.1-91 [33];
- 25) рН воды определялось согласно ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 [128];
- 26) содержание микроэлементов в естественной воде – по ГОСТ Р 51309-99 [55];

- 27) содержание алюминия определяли по ГОСТ 18165-99 [29];
- 28) содержание стронция – по ГОСТ 23950-88 [35];
- 29) содержание нитратов и нитритов в воде находили по ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 [131] и ПНД Ф 14.1:2:4.3-95 [130] соответственно;
- 30) аммоний-ион находили с использованием ГОСТ 4192-92 [50];
- 31) сульфаты – по ГОСТ Р 52964-2008 [59];
- 32) фосфаты – по ГОСТ 18309-72 [30];
- 33) фториды – по ГОСТ 4386-89 [52];
- 34) хлориды – по ГОСТ 4245-72 [51];
- 35) карбонаты, гидрокарбонаты, щелочность – по ГОСТ Р 52963-2008 [58];
- 36) жесткость – по ГОСТ Р 52407-2005 [56];
- 37) кальций и магний – по ГОСТ 23268.5-78 [34];
- 38) сухой остаток – по ГОСТ 18164-72 [28];
- 39) окисляемость перманганатная – по ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 [129];
- 40) хлорорганические пестициды – по МУ 2142-80 [110];
- 41) 2,4-Д – по МУК 4.1.1132-02 [113];
- 42) ртутьорганические пестициды – по МУ 5178-90 [111];
- 43) микробиологические показатели определяли с использованием ГОСТ 2668-85 [61], ГОСТ 2669-85 [43], ГОСТ 26670-91 [44], ГОСТ Р 52816-2007 [57], ГОСТ 18963-73 [31].

Получившиеся данные по биохимическим исследованиям овсяной и перловой круп, взятых за сырье, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты биохимических исследований круп, %

Образец	Влага	Белок	Клетчатка	Жир	Зола
Овсяная крупа	6,0	8,78	2,40	4,93	1,49
Перловая крупа	7,2	9,09	1,08	1,29	0,91

Стоит отметить, содержание токсичных элементов, пестицидов и радионуклидов в исследуемых крупах не превышает требований СанПиН 2.3.2.1078-01 [141].

Микробиологические показатели определяли в соответствии с ГОСТ 1044.15-94 [25], содержание микроорганизмов было выражено в КОЕ/г.

Одной из основных задач работы являлось выявление подходящих режимов обработки сырья в ультразвуковом поле, определение значения оптимальных температур и продолжительности процесса. Для решения данной задачи были поставлены серии экспериментов с варьированием температуры и продолжительности обработки.

Обогащение проводилось на экспериментальной ультразвуковой установке, представляющей собой устройство, построенное по принципу ультразвуковой ванны. Основная часть устройства – емкость из инертного материала (нержавеющей стали) с установленными снизу ультразвуковыми пьезокерамическими преобразователями.

Для эксперимента были выбраны следующие режимные характеристики:

- Температурный режим был выбран в интервале от 25 до 60 °С, где 25 °С – это естественная (комнатная) температура. Температура в 60 °С была выбрана в связи с тем, что при 67,5 °С происходит полная клейстеризация крахмальных цепей. Следует отметить, что подогрев исходного сырья несет в себе значительные экономические затраты, но в случае, когда обогащение происходит природной минеральной водой с относительно низкими концентрациями микроэлементов, повышение данного параметра может стать единственным вариантом получения круп с требуемым содержанием микроэлементов.

- Продолжительность обработки была от 10 до 30 минут с шагом в 5 минут, поскольку анализ основополагающих экспериментов показал, что при времени меньшем, чем 10 минут, концентрация микроэлементов не достигает желаемого значения, а продолжительность обработки более 30 минут разрушала структуру круп.

- Частота ультразвука была взята 35 и 42 кГц.

При математической обработке данных, построении моделей, уравнений и графиков были использованы возможности программ: SPSS, Microsoft Excel, Mathcad Prime 1.0.

Общая схема проведения исследования представлена на рисунке 2.1.



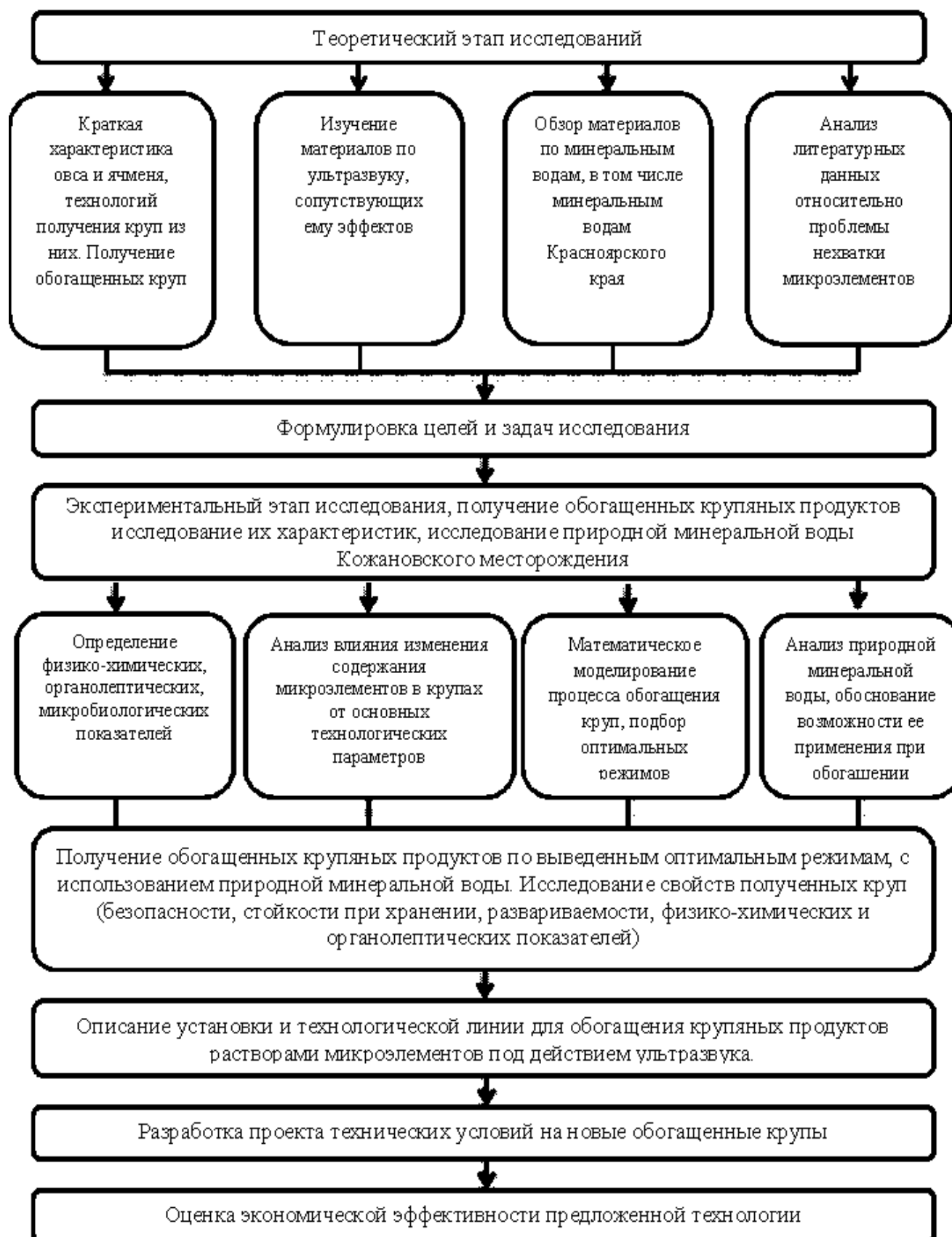


Рисунок 2.1 – Схема проведения исследования

## Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Анализ влияния технологических характеристик на свойства обогащенных крупяных продуктов

В основе выбора функциональных ингредиентов для получения круп функционального действия были использованы результаты мониторинга фактического рациона питания населения Институтом питания РАМН. Эти данные являются основанием для выбора из числа нутрицевтиков, тех физиологических ингредиентов, дефицит которых достоверно установлен, нарастает и представляет определенную опасность для здоровья человека [171]. Было принято решение обогащать крупяные продукты железом и цинком.

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 [141], были выбраны соединения содержащие цинк и железо. Данными соединениями стали сульфат железа и сульфат цинка. Далее на основе бидистиллированной воды, используемой для чистоты эксперимента, готовились растворы данных солей с концентрацией в пересчете на микроэлементы 65 мг/л. Затем происходило смешивание крупы с растворами солей в пропорции 1 к 3 по объему, данное соотношение было взято для наиболее лучшего проникания раствора в крупяной массе. Далее смесь подвергалась ультразвуковой обработке. В конце этапа ультразвукового облучения жидкость сливалась, а полученные крупяные продукты отправлялись на сушку. Высушенные крупы проходили испытания.

Данные изменения содержания микроэлементов при всех вариациях исследуемых технологических характеристик представлены в приложении А.

Для удобства описания полученных результатов, а также их анализа актуально рассматривать влияние температуры и времени обработки при различных частотах ультразвука отдельно.

Анализируя полученные данные (табл. А.1–А.4), видно, что оба элемента в процессе обработки изменяют свое количественное содержание в сторону увеличения. Причем с повышением значений варьируемых технологических характеристик (начальной температуры, частоты ультразвука и продолжительности обработки) идет и увеличение содержания микроэлементов в крупяных продуктах.

## Результаты изменения содержания железа и цинка в крупяных продуктах в зависимости от времени обработки при фиксированной начальной температуре 25 °С

Уже при 10-минутной обработке с начальной температурой 25 °С содержание железа в перловой крупе увеличивается до 35,73 мг/кг при частоте ультразвука 35 кГц и до 46,94 мг/кг при частоте 42 кГц. Если учитывать, что начальное содержание железа в перловой крупе составляло 18,62 мг/кг, то общий прирост за данный промежуток времени составил 91,87 % при частоте ультразвука 35 кГц и 152,1% при частоте 42 кГц.

Общая динамика изменения содержания железа в крупах при начальной температуре 25 °С и переменном времени воздействия для разных частот представлена на рисунке 3.1.

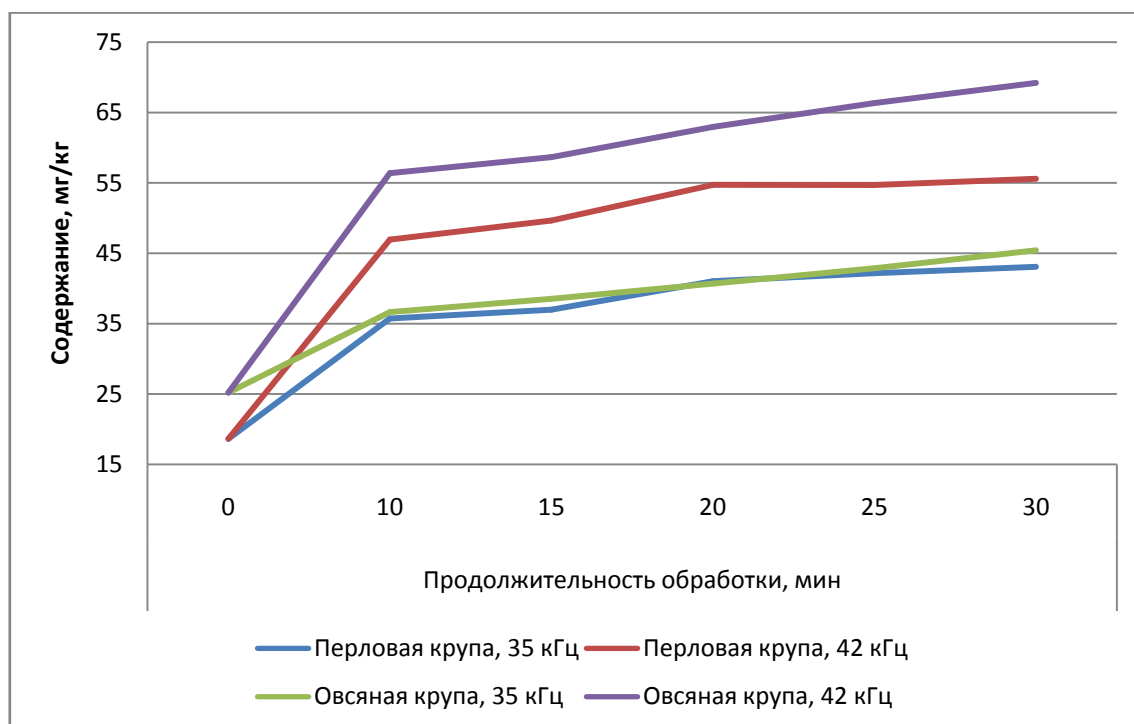


Рисунок 3.1 – Содержание железа в крупах при обработке с начальной температурой 25 °С

Исходя из представленных данных, можно увидеть, что для обеих частот наибольший прирост содержания железа в перловой крупе приходится на первые 10 минут, далее интенсивность обогащения падает, но в промежутке 15–20 минут вновь возрастает. Заметим, что на это время приходится активная гидратация белка в крупе, далее содержание железа продолжает расти, но уже более низкими темпа-

ми. Максимального значения концентрация железа в перловой крупе (при начальной температуре 25 °С) достигает на 30 минуте обработки. Максимальная концентрация железа в перловой крупе составляет 43,07 мг/кг при частоте ультразвука 35 кГц (131,32 % прироста) и 55,60 мг/кг при частоте 42 кГц (198,6 % прироста).

Как видно из рисунка 3.1, для овсяной крупы, так же, как и для перловой, наибольший рост содержания железа приходится на первые 10 минут, причем для частоты в 35 кГц он составил 45,4 %, а для частоты 42 кГц уже 123,8 %. Далее следует плавный, практически линейный, рост непосредственно до крайней точки, соответствующей 30 минутам обработки. Максимальная концентрация железа в овсяной крупе составила 45,42 мг/кг при частоте ультразвука 35 кГц и 69,21 мг/кг при частоте ультразвука 42 кГц, что соответствует приросту соответственно в 80,3 и 174,75 % .

Концентрация цинка в крупяных продуктах также росла. Так, через 10 минут после начала процесса для частоты в 35 кГц концентрация достигла 39,72 мг/кг для перловой крупы и 33,27 для овсяной. В случае воздействия ультразвука частотой 42 кГц содержание составило 48,68 мг/кг для перловой крупы и 66,41 мг/кг для овсяной. Динамика содержания цинка в крупах представлена на рисунке 3.2.

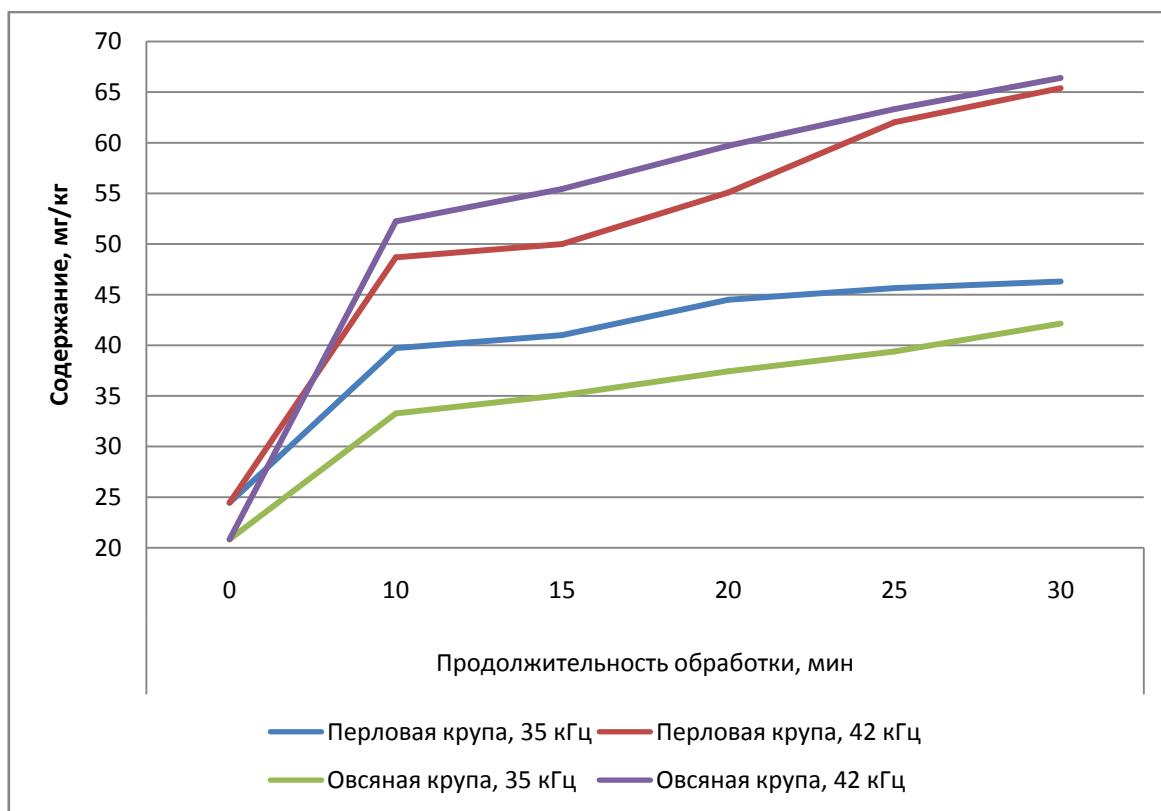


Рисунок 3.2 – Содержание цинка в крупах при обработке с начальной температуре 25 °С

Анализ полученных данных показывает, что длительность процесса обогащения положительно влияет на увеличение концентрации микроэлементов.

Результаты изменения содержания железа и цинка в крупяных продуктах в зависимости от различной начальной температуры процесса при фиксированной продолжительности обработки

Температура, как и продолжительность обработки, является основным фактором течения любого технологического процесса, она влияет на скорость химических и биологических изменений в положительную или отрицательную сторону. Для наглядности влияния начальной температуры рассмотрим подробно изменение концентрации микроэлементов в крупах при различных начальных температурах (25–60 °С). Результаты исследования представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

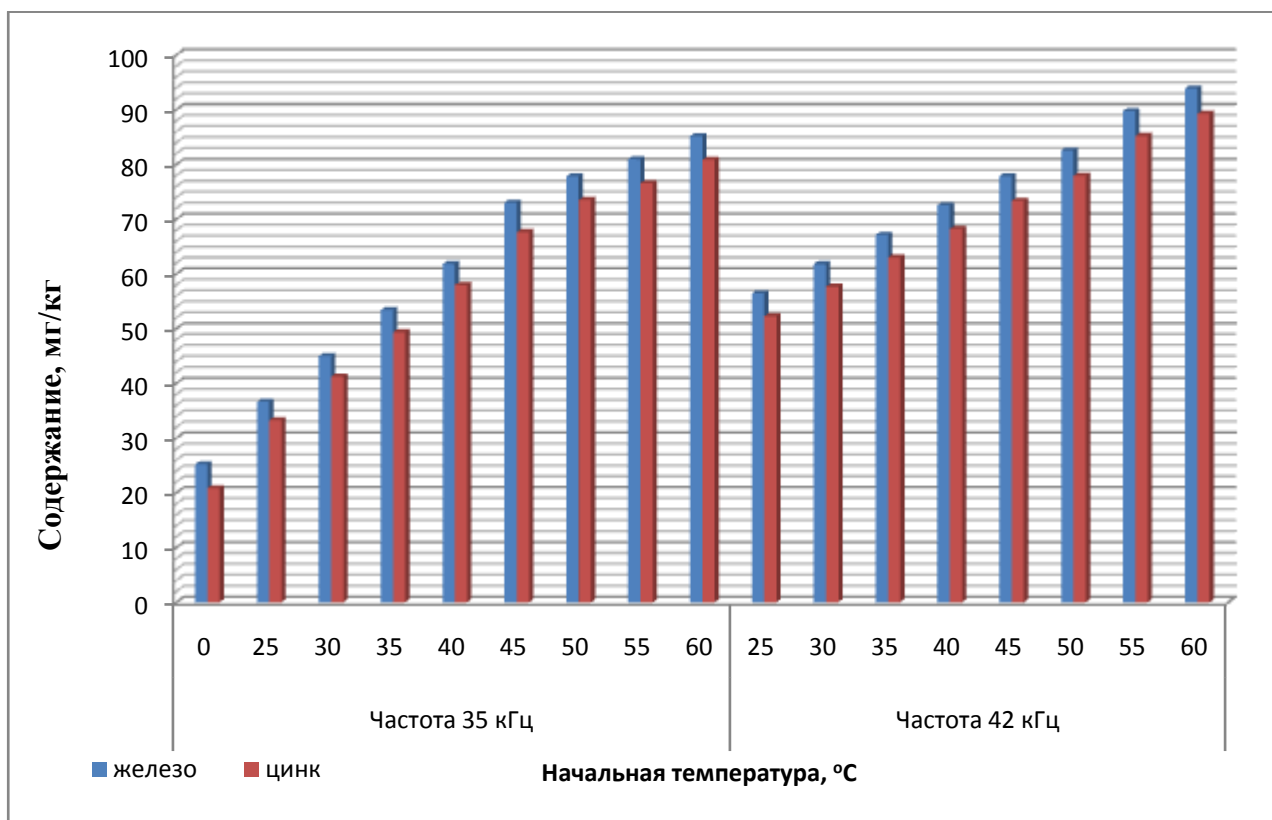


Рисунок 3.3 – Содержание микроэлементов в овсяной крупе относительно начальной температуры обработки

Судя по представленным данным, температура в значительной степени влияет на процесс обогащения крупяных продуктов в ультра-

звуковом поле. Например, при 10-минутной обработке ультразвуком частотой 35 кГц с начальной температурой 25 °С содержание железа в овсяной крупе увеличится с 25,19 до 36,63 мг/кг, а при прочих равных условиях, но с начальной температурой 60 °С, до 85,17 мг/кг.

Аналогичное влияние температуры на процесс обогащения наблюдается и для перловой крупы (рисунок 3.4). Например, при 10-минутной обработке ультразвуком частотой 35 кГц с начальной температурой 25 °С содержание железа в перловой крупе увеличивается с 18,62 до 35,73 мг/кг, а при прочих равных условиях, но с начальной температурой 60 °С, до 67,75 мг/кг.

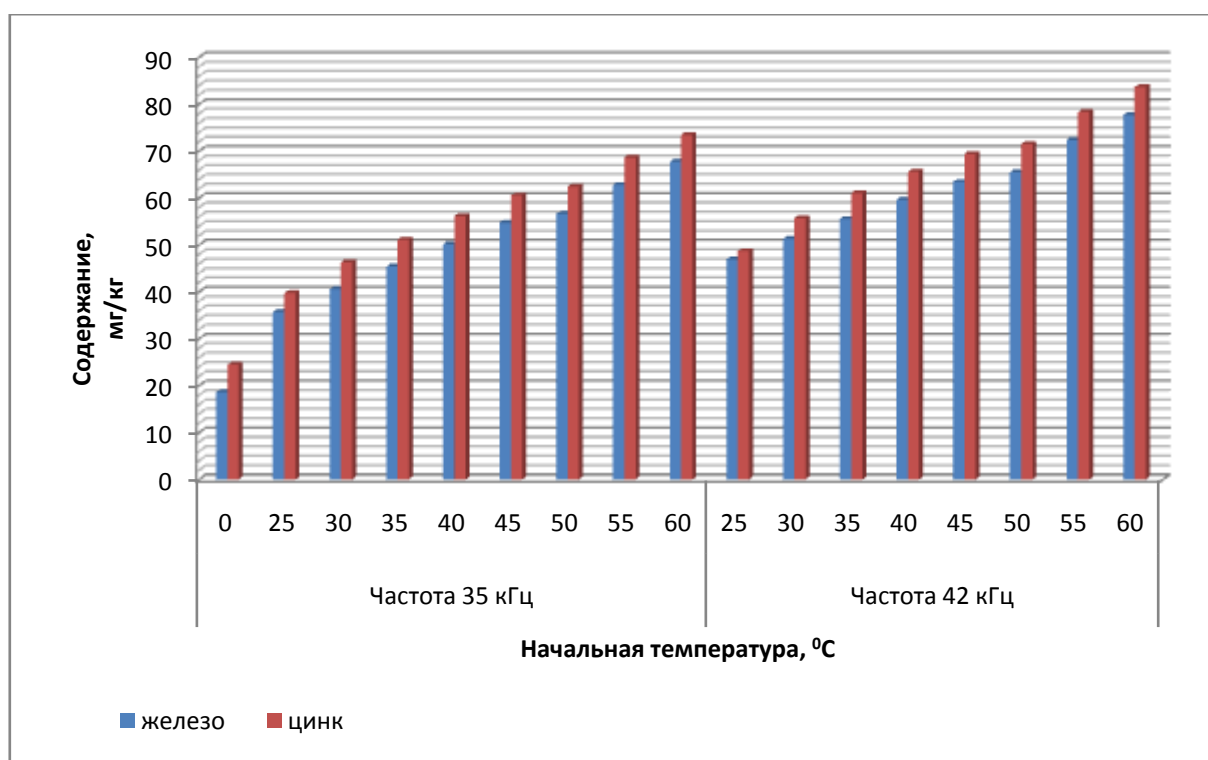


Рисунок 3.4 – Содержание микроэлементов в перловой крупе относительно начальной температуры обработки

Разница в скорости обогащения круп заключается в отличии строения зерновок и их различных характеристиках. Также стоит отметить, что с повышением температуры процесс кавитации становится менее интенсивным, однако, в этот момент идет интенсификация другого процесса, положительно влияющего на увеличение содержания микроэлементов, а именно, ультразвуковой капиллярной пропитки.

Ультразвуковые волны, воздействуя на рабочую жидкость, способствуют проникновению раствора в капилляры и микротрещины зерновки, многократно усиливая капиллярный эффект, а следовательно, и интенсифицируют процесс обогащения.

## Анализ влияния частоты ультразвука на процесс обогащения

Частота ультразвуковых колебаний оказывает большое влияние на динамику потока обогащающей жидкости. Поскольку толщина пограничного слоя при колебаниях уменьшается с ростом частоты, то наложение высокочастотных колебаний влияет и на скорость насыщения.

Получившая наибольшее распространение кавитационная гипотеза объясняет ультразвуковой капиллярный эффект ударами кумулятивных струй или в упрощенном варианте давлением, возникающим при захлопывании кавитационных пузырьков около устья капилляра [78]. Но не стоит забывать, что даже в низкочастотных акустических полях, где ультразвуковых колебаний не хватает для возникновения кавитации, наблюдается капиллярный эффект. С увеличением интенсивности ультразвуковых колебаний данный процесс интенсифицируется, а появившиеся кавитационные пузырьки еще более убыстряют процесс попадания раствора в крупу.

Приведенные доводы полностью подтвердились эмпирическими данными, полученными в результате экспериментов, при более интенсивном облучении растет и скорость увеличения содержания микроэлементов. Различия в динамике процесса можно увидеть на всех графиках и диаграммах раздела 3.

Экспериментальные данные показали, что воздействие ультразвука на исходный продукт, помещенный в раствор солей железа и цинка, дает положительный прирост микроэлементов. Причем при повышении начальной температуры процесса и продолжительности воздействия, а также при увеличении частоты ультразвука увеличивается и скорость повышения содержания микроэлементов.

### **3.2. Определение характеристик полученных экспериментальных крупяных продуктов**

#### Определение органолептических показателей полученных экспериментальных крупяных продуктов

Органолептические показатели были выбраны согласно техническим условиям на крупы, используемые в качестве сырья, а именно цвет, запах и вкус [166, 167].

По результатам анализа было установлено, что запах полученных продуктов остался на уровне исходной крупы и соответствовал запаху нормальной овсяной и перловой крупы без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый.

Цветовая гамма полученных продуктов, в отличие от запаха, не осталась неизменной с ростом температуры, времени воздействия, частоты ультразвука. Она постепенно изменялась в диапазоне от серовато-желтой до светло-коричневой для овсяной крупы, и от белой с желтым оттенком до серой для перловой.

Вкус, пожалуй, самый важный потребительский показатель, ведь общеизвестно, что даже если продукт обогащен всеми необходимыми минералами, но при этом не вкусен, то его ждет потребительская блокада, а следовательно, и провал в продажах. Не секрет, что в случае внесения в продукты ряда микроэлементов, в том числе железа и цинка, на определенном этапе возникает неприятный металлический вкус. Следовательно, задача любого разработчика нового обогащенного продукта заключается в оптимизации вкусовых характеристик и пищевой ценности. Для выявления оптимальных характеристик было проведено более 300 испытаний. Сравнение происходило между исходным вкусом овсяной и перловой крупы и различными вариантами обогащенных круп.

Рассматривая данные экспериментов, можно заметить несколько закономерностей:

1. Различное содержание микроэлемента придает различный вкус продукту, причем, чем содержание больше, тем больше выражен устойчиво-горьковатый металлический привкус.

2. Если рассматривать градацию придаваемых вкусов, то можно заметить три ярко выраженные оттенка:

- Без изменений вкуса – вкус продукта остался прежним или не отличимым от необогащенного продукта.

- Слабый металлический привкус – уловимый привкус, привкус хоть и различим, но не портит продукт.

- Устойчивый металлический привкус – ярко выраженный неестественный привкус, портящий продукт.

3. Рассматривая появление различных оттенков вкуса у продукта, можно заметить, что вкус появляется при достижении концентрации микроэлемента определенного уровня, причем для цинка и для железа этот уровень различен, примерные уровни концентраций представлены в таблице 3.1.



Таблица 3.1 – Соотношение вкуса и содержания микроэлементов

Микроэлемент	Без изменений	Слабый привкус	Устойчивый привкус
Zn	До 48 мг/кг	До 60 мг/кг	До 90 мг/кг
Fe	До 41 мг/кг	До 55 мг/кг	До 70 мг/кг

### Определение изменения содержания сырого белка

Несомненно, белок злаковых культур является одним из важнейших для человека. Его высокое потребление обусловлено высокой долей содержания хлебобулочных, крупяных и других зерновых продуктов в рационе всего населения земли. В связи с этим изучение изменений, происходящих с белком крупы при обработке, является одним из важнейших вопросов.

На рисунках 3.5–3.8 представлено изменение содержания сырого белка в овсяной и перловой крупах при обработке с применением различных технологических параметров.

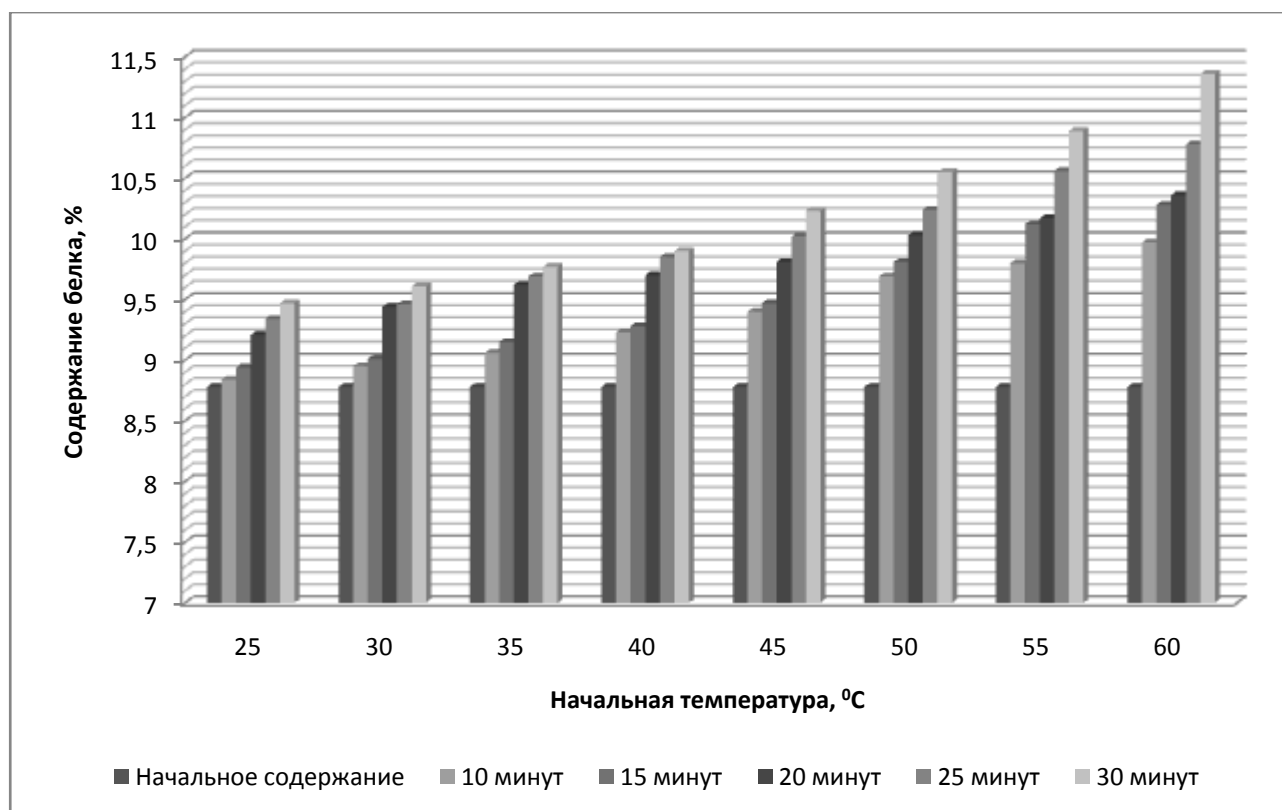


Рисунок 3.5 – Содержание сырого белка в овсяной крупе при обработке ультразвуком с частотой 35 кГц

Общая динамика изменения содержания сырого белка в овсяной крупе заметна уже при минимальных рассматриваемых условиях обработки. Так, при 10 минутах воздействия ультразвуком частотой 35 кГц с начальной температурой 25 °С наблюдается прирост на 0,7 %, если же рассмотреть ситуацию, когда воздействие происходило в течение 30 минут с той же минимальной начальной температурой, то прирост сырого белка становится более ощутим и составляет уже 7,9 %. Рассмотрев максимальную начальную температуру и продолжительность обработки на данной частоте, заметим, что начальное содержание увеличивается на 29,4 %.

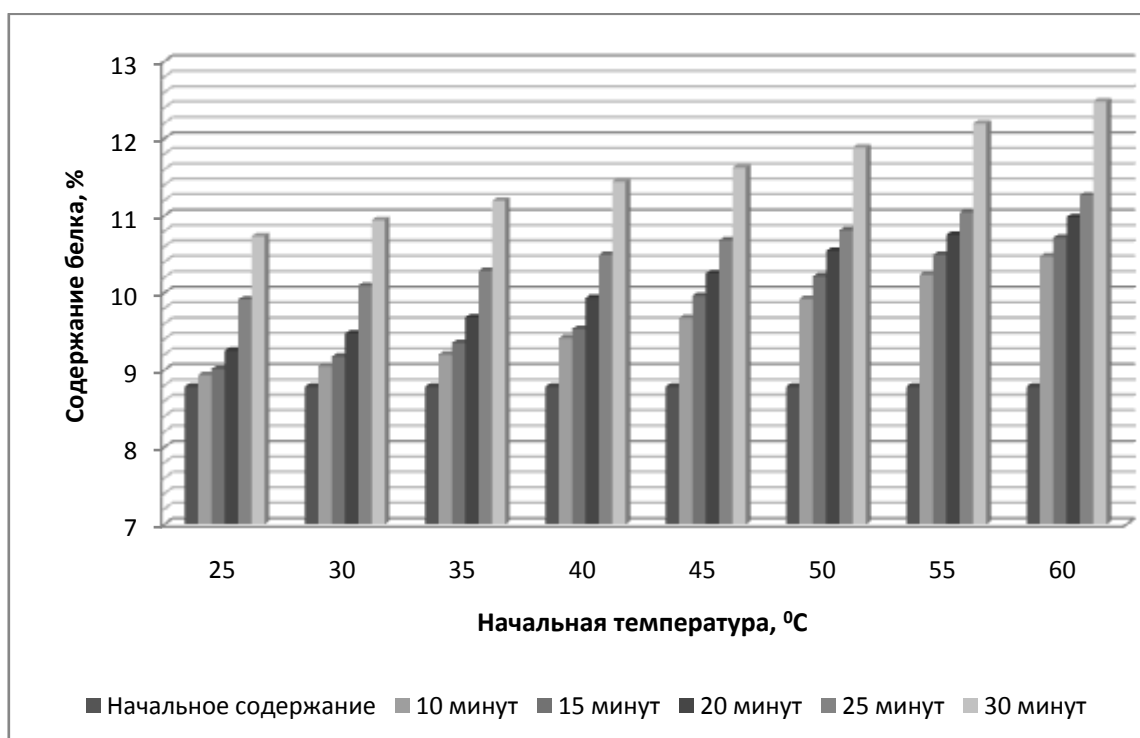


Рисунок 3.6 – Содержание сырого белка в овсяной крупе при обработке ультразвуком с частотой 42 кГц

В случае, когда обработка производилась более мощным ультразвуковым полем, содержание сырого белка увеличивается еще больше. Так при начальных условиях прирост составляет 1,7 %, а при максимальных исследуемых условиях уже 42,1 %, то есть разница между максимальными приростами по двум исследуемым частотам составляет 12,7 % относительно начального содержания.

При рассмотрении динамики изменения содержания сырого белка у перловой крупы при обработке ультразвуком с частотой 35 кГц видно, что при минимальных условиях обработки, как и у овсяной, наблюдается прирост, составляющий 1,6 %. При максималь-

ных характеристиках обработки на данной частоте прирост составляет 32,1 %

Белок крупы, обрабатываемой при частоте 42 кГц, также увеличил свое содержание в диапазоне от 3,1 до 42,6 % в зависимости от режима обработки.

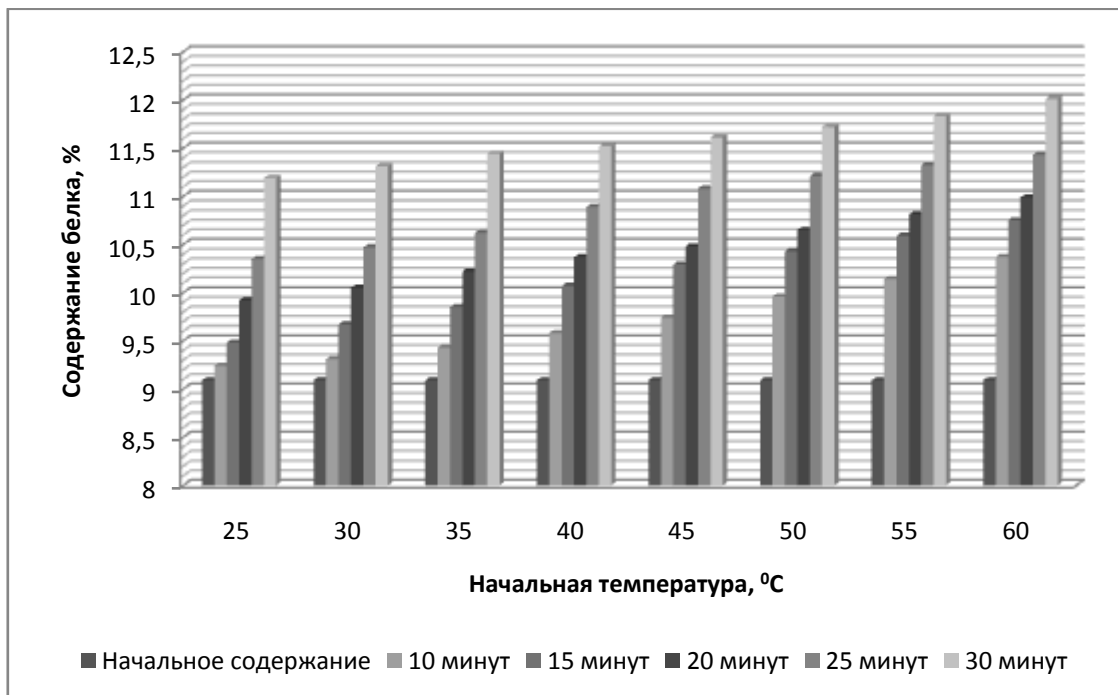


Рисунок 3.7 – Содержание сырого белка в перловой крупе при обработке ультразвуком с частотой 35 кГц

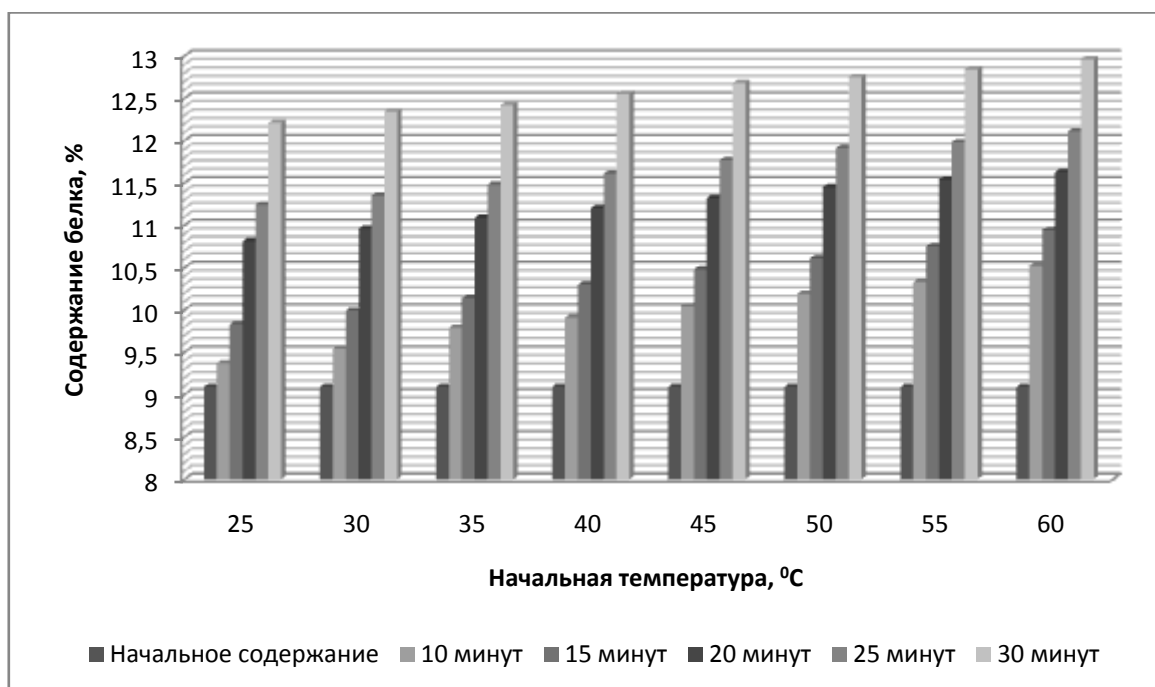


Рисунок 3.8 – Содержание сырого белка в перловой крупе при обработке ультразвуком с частотой 42 кГц

Таким образом, экспериментально доказано, что ультразвуковая квитанционная обработка влияет на содержание сырого белка крупных продуктов, причем при всех вариантах воздействия содержание сырого белка увеличивается.

Подобные исследования влияния ультразвуковой квитанционной обработки были проведены С.Д. Шестаковым с мясным фаршем, в результате исследований водный раствор соли соединился с белком мяса и стал его неотъемлемым компонентом, проще говоря, в результате гидратации произошло увеличения количества белка за счет солевого раствора [186].

Как показали исследования, начальная температура обработки, частота ультразвука, продолжительность процесса и в купе и по отдельности влияют на содержания сырого белка. Влияние температуры на процесс доказано экспериментально, так содержание сырого белка, например, при обработке в ультразвуковом поле с частотой 35 кГц в течение 10 минут с начальной температурой в 25 °С дало прирост 0,7 % для овсяной крупы, для перловой 1,6 %, а при начальной температуре в 40 °С и тех же условиях данный прирост составил 5,1 и 5,4 % соответственно.

Также не стоит забывать, что в течение обработки идет повышение температуры. Данный факт значительно влияет на процесс гидратации белка.

Из экспериментальных данных видно, что процесс увеличения белковой массы для продуктов из ячменя и овса идет с разной скоростью, можно предположить, что это связано с отличием белкового комплекса данных культур, физическими характеристиками и морфологией зерен. Ход процесса может различаться в связи с присутствием в крупах различных ферментов, присущих определенным культурам, которые могут активизироваться при различной влажности и температуре. Еще одним из основополагающих факторов является различная предварительная обработка при выработке крупы.

Стоит отметить, что после сушки крупы и уменьшения ее влажности снизится и рассматриваемый показатель. Однако содержание белка непосредственно после обработки напрямую указывает на внедрение растворенных в жидкости микроэлементов в белковую структуру продукта.

## Исследование содержание жиров

Жиры – один из основных источников энергии в рационе любого живого существа. Содержание липидов в крупяных продуктах в целом не является доминирующим и составляет 0,5–6,5 г на 100 г продукта.

Учитывая тот факт, что крупы и каши занимают прочные позиции в рационе человека и их доля в рационе достаточно велика, рассмотрим процесс изменения содержания жира в процессе обогащения.

Кроме того содержание жиров и продуктов их распада в пищевых продуктах является решающим фактором при хранении. В связи с этим было принято решение исследовать изменение содержания жиров в процессе акустической обработки (рисунки 3.9–3.12).

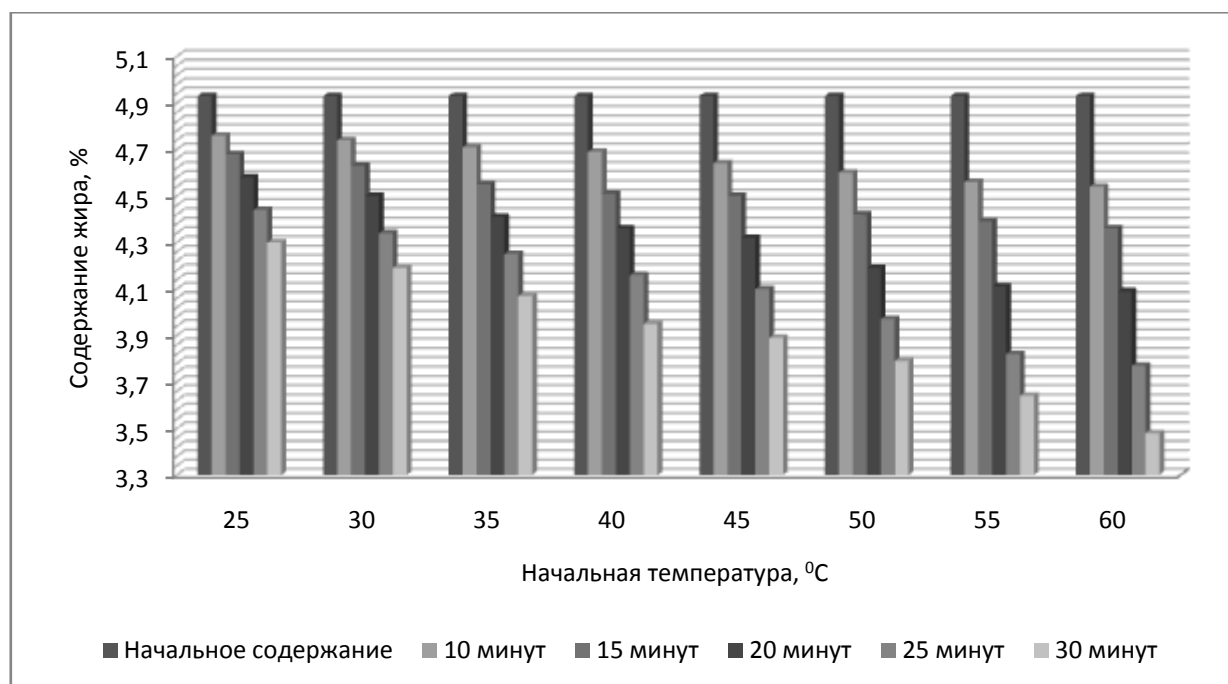


Рисунок 3.9 – Содержание жира в овсяной крупе при обработке ультразвуком с частотой 35 кГц

Начиная с наименьшей по длительности рассматриваемой обработки, наблюдается уменьшение содержания жиров в овсяной крупе. Так, данный показатель снизился с отметки в 4,93 % до 4,76 и 4,72 % для частот в 35 и 42 кГц соответственно уже за первые 10 минут обработки с начальной температурой в 25 °C. Если же брать максимальные исследуемые условия обработки, то данный показатель снижает свое значение на 29,4 и 35,9 % соответственно для частот в 35 и 42 кГц, вероятно, это происходит из-за повышения влажности про-

дукта и непосредственно из-за влияния ультразвукового поля и кавитации.

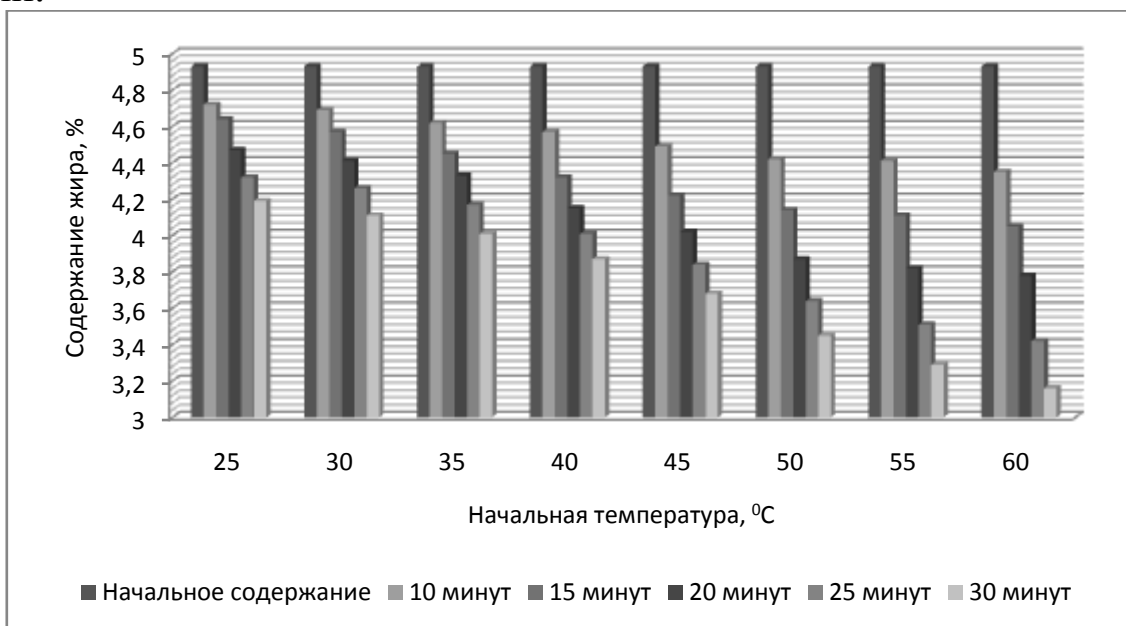


Рисунок 3.10 – Содержание жира в овсяной крупе при обработке ультразвуком с частотой 42 кГц

Заметно влияние температуры на распад жиров. С повышением температуры распад жиров интенсифицируется. Причем, чем больше продолжительность обработки и выше начальная температура, тем разрушение идет быстрее. Естественно, что повышение общей температуры под действием кавитации также убыстряет процесс распада.

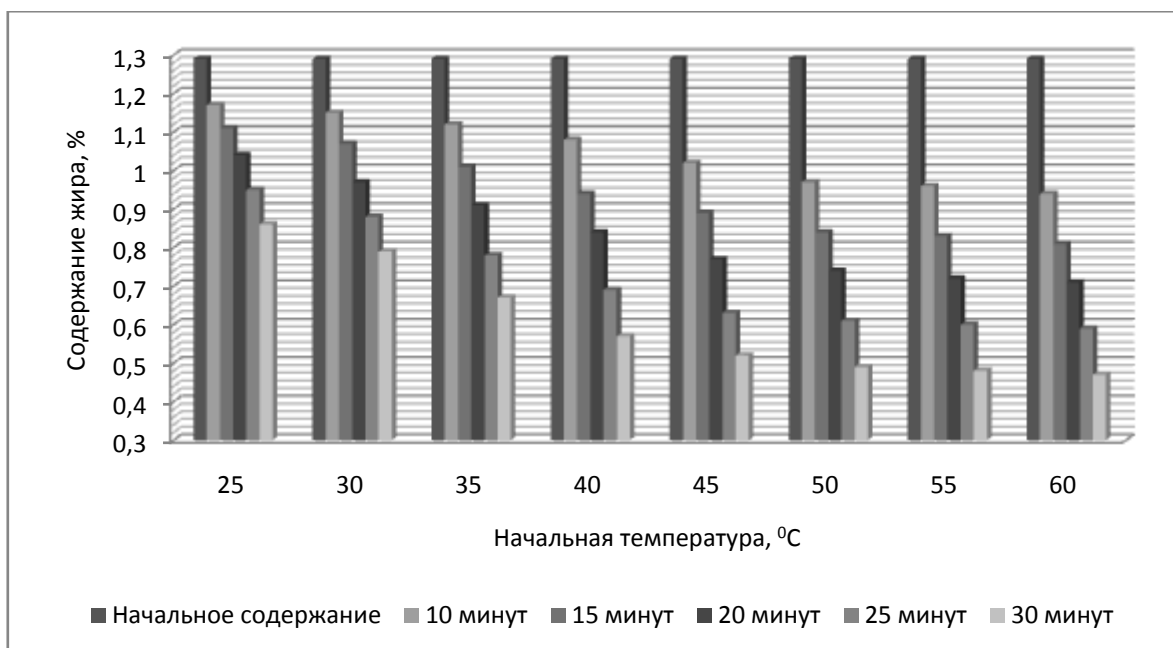


Рисунок 3.11 – Содержание жира в перловой крупе при обработке ультразвуком с частотой 35 кГц

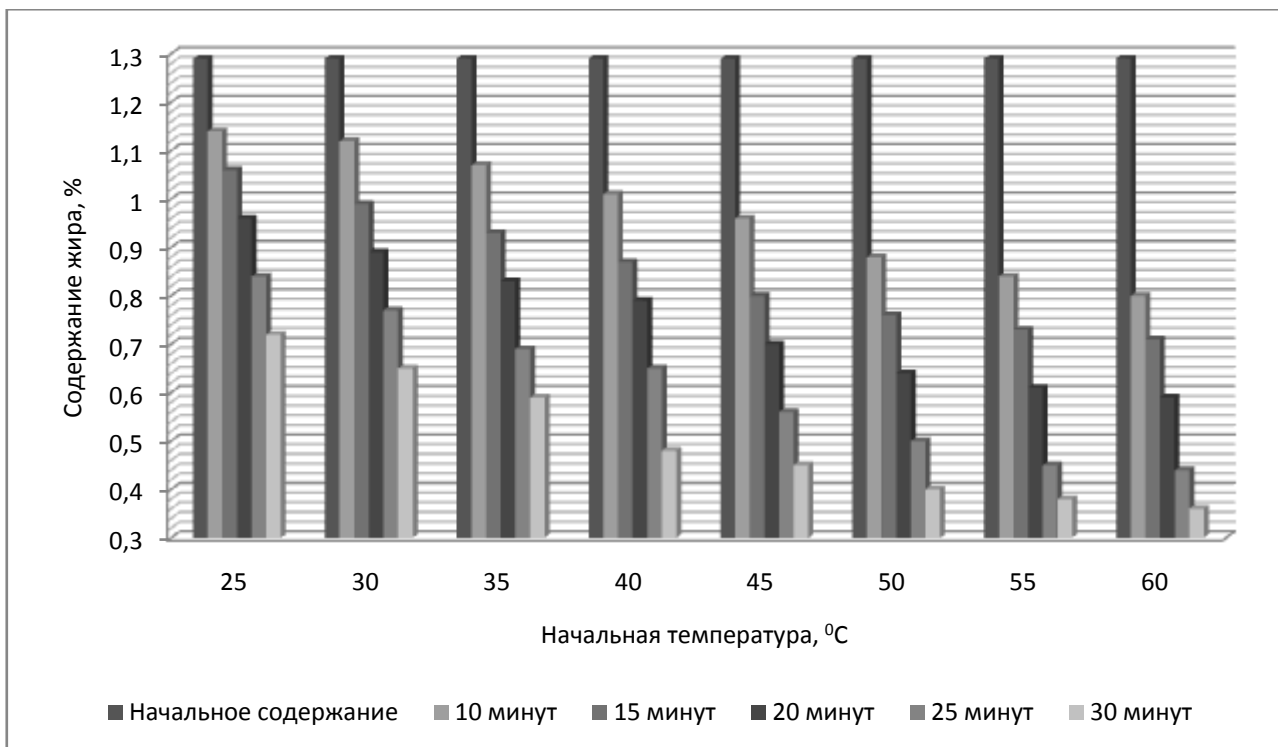


Рисунок 3.12 – Содержание жира в перловой крупе при обработке ультразвуком с частотой 42 кГц

Общая тенденция изменения содержания жиров в перловой крупе совпадает с тенденцией изменения содержания этого нутриента в овсяной крупе, однако есть и некоторые различия. Изначально перловая крупа относительно овсяной была менее богата жирами, в процессе же обработки эта разница еще больше усиливается, уже при минимальных значениях температуры, частоты ультразвука и продолжительности данный показатель снижается на 9,3 и 11,6 % для частот в 35 и 42 кГц соответственно уже за первые 10 минут. При изменении варьируемых технологических характеристик в сторону повышения процесс расщепления еще более интенсифицируется, а при достижении ими максимальных исследуемых значений содержание жира снижается на 63,6 и 72,1 % соответственно для частот в 35 и 42 кГц.

Различную динамику расщепления жиров овсяной и перловой крупы можно объяснить изначально различным содержанием жиров в крупах, их качеством и различиями в технологиях производства перловой и овсяной круп.

## Изменение микробиологического состояния

Общеизвестно, что любой продукт, как на мясной, так и на растительной основе, имеет микрофлору, проще говоря, у любого продукта питания есть своя микробиологическая составляющая. Зернопродукты, как в целом, так и крупяные продукты в частности, не являются исключением. Является аксиомой, что все технологические воздействия должны оказывать подавляющее действие на микрофлору пищевых продуктов, конечно, если их целью не является обратное. В связи с этим было принято решение об изучении влияния ультразвуковой обработки на крупяные продукты с микробиологической точки зрения.

Первое документальное свидетельство об исследовании влияния ультразвука на бактерии датируется 1928 годом, именно тогда Харви и Лумис установили, что светящиеся бактерии разрушаются под ультразвуковым воздействием. Далее многие ученые проводили эксперименты в этой области, их результаты не были однозначны. Некоторыми исследователями было выявлено, что при кратковременном воздействии число жизнеспособных особей не только не уменьшается, но и неуклонно возрастает. Данный эффект объясняется тем, что непродолжительное воздействие разделяет бактериальные скопления, и в дальнейшем каждая клетка дает жизнь новой колонии [18].

Исследования многих ученых указывают на то, что обеззараживающее действие ультразвуковых волн проявляется только в жидкостях, объясняя это обеззараживающим действием кавитации [18, 101, 127, 170]. Кроме физического воздействия кавитационных пузырьков большое влияние на подавление микрофлоры оказывает окислительное действие кислорода, активированного ультразвуком [18]. В связи с этим стоит отметить, что если процесс обогащения будет происходить в естественной минеральной воде с газацией, то процесс обеззараживания продукта будет происходить быстрее.

Для выявления влияния выбранных режимов технологического процесса на микрофлору крупяных продуктов были выбраны крупы, обработанные с минимальными и максимальными технологическими характеристиками, и их промежуточные варианты. Полученные данные представлены в таблице 3.2.



Таблица 3.2 – Микробиологическая характеристика круп

Показатель	Начальная температура, °С	Продолжительность, мин	Овсяная крупа		Перловая крупа	
			Частота			
			35 кГц	42 кГц	35 кГц	42 кГц
КМА-ФАнМ, КОЕ/г	Без обработки	-	$3,4 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$
	25 °С	10	$2,8 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$
		20	$1,2 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,8 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$
		30	$9,4 \cdot 10^2$	$7,3 \cdot 10^2$	$9,2 \cdot 10^2$	$6,4 \cdot 10^3$
	40 °С	10	$1,9 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$
		20	$9,3 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$
		30	$3,2 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	$0,7 \cdot 10^2$
	60 °С	10	$9,7 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^2$	$9,2 \cdot 10^2$	$7,8 \cdot 10^2$
		20	$4,1 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$0,8 \cdot 10^2$
		30	$1,0 \cdot 10^2$	$0,4 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$	$0,1 \cdot 10^2$

Полученные результаты показали, что как овсяная, так и перловая крупа изначально имели интенсивное бактериальное обсеменение, начальная контаминация овсяной крупы составляла  $3,4 \cdot 10^3$  КОЕ/г, а перловой  $2,7 \cdot 10^3$  КОЕ/г.

Ультразвуковая обработка во всех рассматриваемых случаях снизила численность микроорганизмов, причем, чем длительнее происходил процесс воздействия, тем численность микрофлоры становилась меньше. Температурные режимы повлияли на процесс обеззараживания продукта, по данным таблицы 3.2 заметно, что чем выше была температура, тем процесс разрушения бактерий шел интенсивнее. Это связано с тем, что при увеличении температуры уменьшается силы сцепления между бактериальной клеткой и жидкостью. Кроме того, кавитация на поверхности бактериальной клетки в свою очередь ведет к ускорению ее расщепления. Стоит учесть, что под действием ультразвуковой кавитации во времени растет и общая температура изучаемого процесса.

Стоит отметить, что даже при минимальных значениях основных технологических характеристик не наблюдается роста микрофлоры крупы. Следовательно, предложенных минимальных технологических характеристик хватает для успешного снижения контаминации, а момент роста количества бактерий остается в промежутке до 10 минут.

## Исследование изменения углеводов при обогащении

Углеводы составляют главную массу зерна и продуктов его переработки – примерно две трети. Это основной питательный и опорный материал растительных клеток и тканей. Велика их роль в питании человека. Значение углеводов для живых организмов в том, что они представляют собой энергетический материал – главный источник калорий [76, 117].

Для выявления изменения углеводного комплекса овсяной и перловой крупы при обогащении на различных режимах было принято решение исследовать изменение содержания крахмала, декстринов, клетчатки и общего сахара. Результаты измерений при некоторых характерных режимах (максимальных, минимальных и промежуточных) приведены в таблицах 3.3 и 3.4.

Судя по табличным данным, содержание крахмала в обеих крупах снижается, однако уменьшение содержания крахмала в течение процесса обработки при разных условиях не равномерное. Так, за первый 10-минутный период при начальной температуре 25 °С и частоте 35 кГц содержание крахмала снижается на 6,2 и 4,4 % для овсяной и перловой крупы соответственно. Если же рассматривать промежуток времени с двадцатой по тридцатую минуту, то при тех же условиях содержание крахмала в овсяной и перловой крупе понижается на 7,4 и 6,2 % соответственно.

Таблица 3.3 – Влияние технологических параметров обработки на содержание углеводов в овсяной крупе

Показатель	Исходное содержание, %	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин	Начальная температура, °С		
				25	40	60
1	2	3	4	5	6	7
Крахмал	59,02 ± 0,38	35	10	55,34±0,36	53,31±0,35	48,90±0,36
			20	53,31±0,35	50,10±0,33	44,02±0,29
			30	49,36±0,32	45,48±0,30	40,01±0,27
		42	10	52,46±0,34	47,13±0,31	44,11±0,30
			20	50,82±0,33	44,35±0,30	40,93±0,28
			30	47,32±0,31	42,07±0,28	36,14±0,25

1	2	3	4	5	6	7
Декстрины	1,84	35	10	2,01	2,43	2,68
			20	2,32	2,74	3,16
			30	2,70	3,25	4,18
		42	10	2,29	2,81	3,16
			20	2,74	3,23	4,10
			30	2,80	3,85	4,63
Клетчатка	3,21 ± 0,11	35	10	3,14 ± 0,10	3,10 ± 0,10	3,01 ± 0,10
			20	3,04 ± 0,10	3,02 ± 0,10	2,94 ± 0,10
			30	2,91 ± 0,09	2,87 ± 0,09	2,75 ± 0,09
		42	10	3,07 ± 0,10	3,04 ± 0,10	3,01 ± 0,10
			20	2,92 ± 0,10	2,90 ± 0,09	2,86 ± 0,09
			30	2,83 ± 0,09	2,79 ± 0,09	2,72 ± 0,09
Общий сахар	3,14 ± 0,11	35	10	3,22 ± 0,11	3,32 ± 0,12	3,84 ± 0,14
			20	3,31 ± 0,12	3,57 ± 0,13	4,42 ± 0,16
			30	3,40 ± 0,12	4,27 ± 0,15	4,91 ± 0,17
		42	10	3,28 ± 0,12	3,81 ± 0,13	4,33 ± 0,15
			20	3,70 ± 0,13	4,32 ± 0,15	4,94 ± 0,17
			30	3,76 ± 0,13	4,81 ± 0,17	5,50 ± 0,19

Таблица 3.4 – Влияние технологических параметров обработки на содержание углеводов в перловой крупе

Показатель	Исходное содержание, %	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин	Начальная температура, °С		
				25	40	60
1	2	3	4	5	6	7
Крахмал	74,48 ± 0,47	35	10	71,22±0,45	69,40±0,44	64,38±0,41
			20	69,35±0,44	66,17±0,42	57,21±0,37
			30	65,04±0,41	60,96±0,39	51,93±0,34
		42	10	70,22±0,44	66,41±0,42	61,14±0,39
			20	67,38±0,43	62,40±0,40	53,85±0,35
			30	63,69±0,41	57,06±0,37	50,42±0,33

1	2	3	4	5	6	7
Дек-стри-ны	0,97	35	10	1,02	1,14	1,48
			20	1,11	1,37	1,92
			30	1,32	1,74	2,17
		42	10	1,03	1,23	1,68
			20	1,19	1,46	2,00
			30	1,38	1,70	2,39
Клет-чатка	1,24 ± 0,06	35	10	1,23 ± 0,06	1,20 ± 0,05	1,07 ± 0,05
			20	1,12 ± 0,05	1,07 ± 0,05	1,05 ± 0,05
			30	1,04 ± 0,05	1,02 ± 0,05	0,98 ± 0,05
		42	10	1,22 ± 0,06	1,15 ± 0,05	1,09 ± 0,05
			20	1,18 ± 0,05	1,07 ± 0,05	1,03 ± 0,05
			30	1,14 ± 0,05	1,10 ± 0,05	0,97 ± 0,05
Об-щий сахар	2,12 ± 0,08	35	10	2,31 ± 0,08	2,54 ± 0,09	2,90 ± 0,10
			20	2,38 ± 0,08	2,76 ± 0,10	3,52 ± 0,12
			30	2,58 ± 0,09	3,33 ± 0,12	4,13 ± 0,15
		42	10	2,42 ± 0,09	2,80 ± 0,10	3,35 ± 0,12
			20	2,66 ± 0,09	3,34 ± 0,12	3,94 ± 0,14
			30	3,01 ± 0,11	3,93 ± 0,14	4,58 ± 0,16

Далее с увеличением продолжительности воздействия, повышением температуры и увеличением частоты ультразвука процесс расщепления интенсифицируется. Минимальное количество крахмала, как для овсяной, так и для перловой круп, зафиксировано в крупах, обработанных в течение 30 минут ультразвуком с частотой 42 кГц и начальной температурой процесса 60 °С. При данных условиях общее снижение содержания крахмала составляет 38,8 и 32,3 % для овсяной и перловой крупы соответственно. В связи с тем, что при изменении основных технологических характеристик изменяется и скорость расщепления крахмала, можно сделать вывод: в основе кавитационного расщепления лежит сумма воздействий температуры и механических воздействий кавитационных пузырьков, естественно, что с увеличением длительности воздействия этих показателей разрушение крахмала происходило быстрее. Также не стоит забывать, что процесс происходил в водной среде, без которой не возможен процесс гидролиза и соответственно не возможны все описанные выше изменения.

Рассматривая общую картину разрушения крахмала, видно, что данный процесс для разных круп происходил неравномерно, это связано с различной формой и строением крахмальных зерен у ячменя и овса, а также с их стойкостью к температуре и воздействию ферментов и кислот [76].

Декстрины – это высокомолекулярные вещества, являющиеся промежуточными продуктами расщепления крахмала под действием амилаз и кислот [76]. Судя по приведенным данным, как для овсяной, так и для перловой крупы, с уменьшением содержания крахмала содержание декстринов возрастает.

Сахара, так же, как и декстрины, увеличивают свое массовое содержание в продукте, это связано с тем, что они являются конечным продуктом разложения крахмала. Данный показатель очень важен, так как более простые углеводы легче и быстрее усваиваются в желудочно-кишечном тракте. Стоит заметить, что сладковатый привкус продуктов с максимальными режимами обработки объясняется повышенным содержанием сахаров.

Клетчатка – очень прочное химическое вещество, не растворимое в воде и большинстве других растворителей [76]. Судя по полученным данным содержание клетчатки в процессе обработки снижается, однако данное изменение незначительно. В связи с этим можно говорить, что выбранные режимы обработки не оказывают значительного влияния на содержание клетчатки в продукте.

#### Определение кислотности продуктов, полученных на различных режимах

Кислотность – один из важнейших показателей для крупяного продукта, ведь наряду с микробиологическими характеристиками это один из основных факторов порчи.

В связи с этим была определена кислотность всех полученных продуктов. Полученные результаты приведены в таблицах 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 – Кислотность овсяной крупы

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин					
		0	10	15	20	25	30
25	35	4,2 ± 0,4	5,1 ± 0,5	4,8 ± 0,4	4,6 ± 0,4	4,4 ± 0,4	4,4 ± 0,4
	42		5,1 ± 0,5	4,7 ± 0,4	4,5 ± 0,4	4,4 ± 0,4	4,5 ± 0,4
30	35		5,1 ± 0,5	4,9 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,5 ± 0,4	4,6 ± 0,4
	42		5,2 ± 0,5	5,0 ± 0,5	4,9 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,8 ± 0,4
35	35		5,3 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,0 ± 0,5	4,9 ± 0,4	5,1 ± 0,5
	42		5,3 ± 0,5	5,2 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,0 ± 0,5	5,1 ± 0,5
40	35		5,4 ± 0,5	5,2 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,2 ± 0,5
	42		5,5 ± 0,5	5,2 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,3 ± 0,5
45	35		5,5 ± 0,5	5,3 ± 0,5	5,2 ± 0,5	5,2 ± 0,5	5,3 ± 0,5
	42		5,6 ± 0,5	5,4 ± 0,5	5,2 ± 0,5	5,3 ± 0,5	5,3 ± 0,5
50	35		5,5 ± 0,5	5,4 ± 0,5	5,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	5,7 ± 0,5
	42		5,6 ± 0,5	5,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	5,8 ± 0,5
55	35		5,6 ± 0,5	5,6 ± 0,5	5,7 ± 0,5	5,9 ± 0,5	6,1 ± 0,5
	42		5,8 ± 0,5	5,7 ± 0,5	5,9 ± 0,5	6,1 ± 0,5	6,4 ± 0,6
60	35		5,7 ± 0,5	5,8 ± 0,5	5,9 ± 0,5	6,2 ± 0,6	6,4 ± 0,6
	42		6,0 ± 0,5	6,1 ± 0,5	6,3 ± 0,6	6,5 ± 0,6	6,8 ± 0,6

Таблица 3.6 – Кислотность перловой крупы

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин					
		0	10	15	20	25	30
1	2	3	4	5	6	7	8
25	35	3,1 ± 0,2	3,8 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,8 ± 0,2
	42		3,9 ± 0,2	3,8 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,9 ± 0,2
30	35		3,9 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,8 ± 0,2
	42		4,0 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,9 ± 0,2
35	35		4,0 ± 0,2	3,8 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,9 ± 0,2
	42		4,1 ± 0,2	3,9 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,9 ± 0,2
40	35		4,0 ± 0,2	3,9 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,7 ± 0,2	4,0 ± 0,2
	42		4,1 ± 0,2	3,8 ± 0,2	3,7 ± 0,2	3,8 ± 0,2	4,0 ± 0,2

1	2	3	4	5	6	7	8
45	42	3,1 ± 0,2	4,2 ± 0,3	3,9 ± 0,2	3,8 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,1 ± 0,2
50	35		4,2 ± 0,3	3,9 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,0 ± 0,2	4,3 ± 0,3
	42		4,3 ± 0,3	4,0 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,1 ± 0,2	4,5 ± 0,3
55	35		4,4 ± 0,3	4,1 ± 0,2	4,2 ± 0,3	4,3 ± 0,3	4,6 ± 0,3
	42		4,6 ± 0,3	4,2 ± 0,3	4,2 ± 0,3	4,5 ± 0,3	4,7 ± 0,3
60	35		4,6 ± 0,3	4,3 ± 0,3	4,4 ± 0,3	4,7 ± 0,3	5,1 ± 0,3
	42		4,8 ± 0,3	4,4 ± 0,3	4,5 ± 0,3	4,9 ± 0,3	5,4 ± 0,3

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что в начале процесса обработки кислотность продуктов возрастает, затем начинает убывать. Однако при применении режимов с высокими параметрами процесс понижения кислотности останавливается, а затем показатель опять растет. Первоначальное увеличение кислотности с последующим падением можно объяснить тем, что в начале процесса образуются свободные радикалы, главным образом ОН-, окисляющие систему, затем же в процессе обработки водород улетучивается, растет число гидроксильных групп, что ведет за собой уменьшение кислотности [18, 101, 206]. Но при обработке на режимах с высокими параметрами идет активное расщепление жиров, и высвободившиеся кислоты опять подкисляют продукт.

#### Исследование изменения температуры в процессе обогащения

Влияние температуры на любой технологический процесс является общедоступным фактом. Температура влияет на скорости химических и биохимических реакций, а также на все физиологические процессы любой живой системы.

О повышении температуры под действием ультразвука говорят многие авторы, причем этот процесс напрямую зависит от явления кавитации, чем интенсивнее данный процесс, тем большее количество тепловой энергии переходит в жидкость, нагревая ее [13, 18, 101, 119, 127, 170, 173, 180].

Однако из работ Р.Р. Чугаева можно сделать вывод, что процесс кавитации возможен только тогда, когда давление в жидкой системе меньше давления насыщенных паров, причем последнее напрямую

зависит от температуры паров. Из этого следует вывод – чем меньше температура жидкости, тем скорость ее нагрева идет интенсивнее. А при достижении определенной температуры процесс кавитации прекращается, и повышение температуры не наблюдается [180].

В связи с вышесказанным были проведены исследования изменения температуры в процессе обогащения, полученные данные представлены в таблице 3.7.

В ходе эксперименты были подтверждены представленные ранее теоретические данные, а именно – наибольший рост температуры приходится на начало процесса, затем же с повышением температуры интенсивность нагревания падает.

Максимальная температура, полученная в результате опытов, составляет 69 °С, данный результат был зафиксирован на 30-й минуте в варианте обработки с начальной температурой 60 °С и частотой ультразвука 42 кГц.

Таблица 3.7 – Изменение температуры в процессе обогащения

Частота ультразвука, кГц	Продолжительность обработки, мин					
	0	10	15	20	25	30
	Температура, °С					
35	25	37	43	47	50	53
	40	49	53	56	59	61
	60	63	65	66	67	68
42	25	40	45	49	52	55
	40	52	56	59	61	63
	60	64	66	67	68	69

### 3.3. Математическая обработка результатов и поиск режимов обогащения

Общая постановка задачи. Алгоритм математического моделирования процесса обогащения круп

Одним из основных этапов выполнения работы является математическая обработка полученных экспериментальных данных с последующим построением математических моделей процесса обогащения круп. С помощью математических методов возможно дать



описание процесса обогащения при изменении концентрации микроэлементов в обогащающей жидкости. Это важно, поскольку в природе все минеральные воды не имеют какого-либо постоянного содержания микроэлементов. Содержание микроэлементов колеблется в широком диапазоне и зависит не только от такого глобального фактора, как происхождение воды, но и, например, от времени года. В соответствии с этим первостепенной являлась задача найти основные закономерности и составить уравнения, адекватно описывающие технологический процесс, и во-вторых дать возможность оптимизировать технологический процесс в соответствии с концентрацией микроэлементов в минеральной воде, используемой для обогащения.

Для достижения поставленных задач были проведены предварительные расчеты и представлен принципиальный вид уравнения протекания процесса.

Так, уравнение процесса обогащения, наиболее точно описывающее происходящие изменения, имеет вид

$$C_{\text{обог}} = C_{\text{раст}} \cdot I(t, T) + C_{\text{круп}}, \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{обог}}$  – итоговое содержание цинка/железа в крупе после обработки;

$C_{\text{раст}}$  – содержание цинка/железа в растворе;

$I(t, T)$  – зависимость индекса обогащения от времени и температуры процесса при разных частотах;

$C_{\text{круп}}$  – исходное содержание цинка/железа в крупе.

«Индекс обогащения» – процент прироста содержания железа/цинка в крупе относительно концентрации в обогащающем растворе.

Затем, исходя из полученных ранее данных, был вычислен индекс обогащения  $I$ , а также найдена зависимость  $I$  от  $t$  и  $T$ . Для нахождения данной зависимости был применен регрессионный анализ методом наименьших квадратов с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта.

Получены уравнения типа «вход-выход» в виде регрессионных соотношений:

$$\begin{aligned} C &= a_2 C_p + a_1 C_0 + a_0, a_0 = 0, a_1 = 1, a_2 = a_2(t, T) \\ &= (m_1 t + m_0)(n_1 T + n_0) C_p + C_0 = \\ &= k_0 C_p + k_1 C_p t + k_2 C_p T + k_{1,2} C_p t T + C_0, \end{aligned} \quad (3.2)$$

в которых коэффициенты  $(m_1, m_0)(n_1, n_0)$  однозначно задают «индекс обогащения»  $I$  и его зависимость от  $t$  и  $T$ .

Данный анализ представляет собой попытку найти зависимость между индексом обогащения, температурой и временем протекания процесса в виде уравнения, получаемым в результате решения задачи минимизации суммы квадратов рассогласований (3.3), т.е.

$$F(t, T) = \sum(C(t, T) - C_{\text{пр}}(t, T))^2 \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

где функция концентрации микроэлемента  $C(t, T)$  однозначно определяется индексом обогащения  $I_{\text{пр}}(t, T)$ , предсказанным в результате математического моделирования значением индекса обогащения, получаемым в результате вычислений.

В результате были получены уравнения, адекватно описывающие процесс обогащения круп микроэлементами, статистически значимые, имеющие низкие суммы квадратов остатков.

Таким образом, основными этапами математического моделирования являются:

1. Обработка экспериментальных данных, нахождение экспериментальных значений индекса обогащения.

2. Построение моделей, описывающих процесс обогащения круп, методом регрессионного анализа:

- $I(t, T) \rightarrow \sim (m_1, m_0)(n_1, n_0),$

- $C_{\text{обог}} = C_{\text{раст}} \cdot I(t, T) + C_{\text{круп}} \rightarrow \sim k_0 C_p + k_1 C_p t + k_2 C_p T + k_{1,2} C_p t T + C_0.$

3. Расчет теоретического значения индексов обогащения на основе полученных моделей.

4. Статистическая оценка полученных уравнений (обоснование их адекватности и возможности моделирования и оптимизации процесса обогащения круп).

5. Использование моделей для выбора параметров технологического процесса производства обогащенных круп.

#### Результаты математического моделирования процесса обогащения круп железом

Обработка экспериментальных исследований (фрагмент результатов одной серии приведен в таблице 3.8; результаты других серий экспериментов вынесены в приложениях А и В) технологического процесса обогащения овсяной и перловой крупы микроэлементами Fe и Zn, проведенных по программе планирования полного двухфакторного эксперимента с фиксацией каждого из факторов на пяти уровнях

(центральном, -0; и -2; -1; +1; +2) позволила установить основные тенденции изменения физико-химических и технологических свойств крупяных продуктов.

Таблица 3.8 – Результаты опытов одной серии экспериментальных исследований

Температура, кодированное значение, °С	Время, кодированное значение, мин				
	-2(10)	-1 (15)	0(20)	+1(25)	+2(30)
-2 (25)	35,725 ± 0,993	36,971 ± 1,028	41,038 ± 1,124	42,168 ± 1,172	43,070 ± 1,197
-1 (30)	40,594 ± 1,129	41,934 ± 1,166	46,221 ± 1,285	47,334 ± 1,316	48,286 ± 1,342
0 (35)	45,386 ± 1,262	46,868 ± 1,303	51,463 ± 1,431	52,642 ± 1,463	53,637 ± 1,491
1 (40)	50,172 ± 1,395	51,701 ± 1,437	55,664 ± 1,547	57,08 ± 1,587	58,103 ± 1,615
2 (45)	54,759 ± 1,522	57,211 ± 1,590	59,769 ± 1,662	62,355 ± 1,733	64,273 ± 1,787

Для рассматриваемой серии опытов реализация задачи (3.1)–(3.3) позволила получить следующие оценочные значения для коэффициентов регрессии уравнения (3.2):

$$k_0 = -0,28; \quad k_1 = 0,10 \cdot 10^{-3}; \quad k_2 = -0,34 \cdot 10^{-4}; \quad k_{1,2} = 0,94 \cdot 10^{-5}, \quad (3.4)$$

значимость которых проверена с использованием критерия Фишера

$$F_{\text{расч}} = \frac{R^2}{1-R^2} \frac{n-m-1}{m} = 6,2 > 2,5 = F(\beta, k) = F_{\text{табл}}(0,95; n - m - 1),$$

$$R^2 = 0,94, \quad (3.5)$$

где  $R^2$  – коэффициент детерминации, подтверждающий адекватность модели с доверительной вероятностью на уровне не менее  $\beta = 0,95$ .

Погрешность расчетных значений содержания микроэлементов от экспериментальных не превышает 5 %, следовательно, все полученные модели адекватно описывают процесс обогащения.

Варьируя технологическими параметрами – начальная температура и время обработки, при фиксированных значениях следующих параметров:

- частоты ультразвука (35 и 42 кГц)  $C_p$ ;

- концентрации железа и цинка в растворе (65 мг/кг);
- исходной концентрации этих элементов в овсяной и перловой крупе  $C_0$ , равной 20 мг/кг (реальные значения 18,62...20,85 мг/кг) и равной 25 мг/кг (реальные значения 24,45...25,19 мг/кг), и с использованием планирования серии (для начальной температуры  $T_0$  на уровнях от 25 до 45 °С с шагом 5 °С и центром плана 35 °С на нулевом уровне; для времени обработки ультразвуком  $t$  на уровнях 10 до 30 минут с шагом 5 минут и центром плана по этому фактору 25 минут на нулевом уровне) активных экспериментов по схеме ПФЭ  $2^5$ , экспериментально доказано значительное влияние данных параметров на процесс обогащения и возможность математического описания этого процесса с использованием принятой в настоящем исследовании спецификации параметров.

Указанные параметры выделены в три группы:

- начальные (отмеченные выше концентрации элементов Fe и Zn);

- управляющие (частота ультразвука);

- режимные (начальная температура и время обработки).

В качестве примера результаты данной серии опытов (табл. 3.8) для перловой крупы при частоте обработки ультразвуком 35 кГц по концентрации железа приведены на рисунке 3.13.

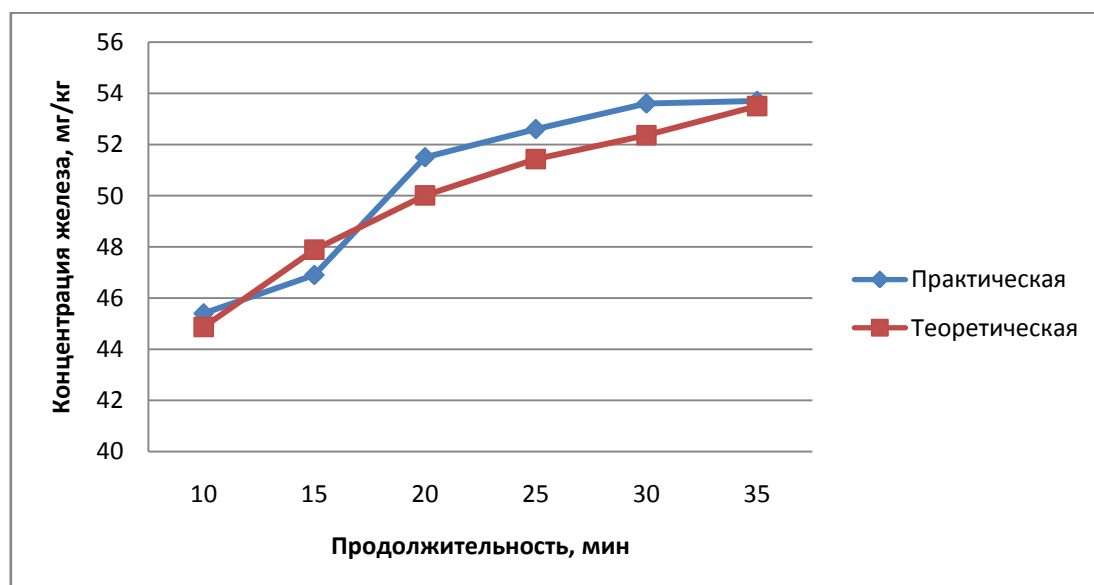


Рисунок 3.13 – Кривая динамики изменения концентрации железа, полученная при обогащении перловой крупы (частота ультразвука 35 кГц, начальная концентрации железа в крупе 18 мг/кг, концентрация железа в растворе 65 мг/кг)

С целью определения наиболее рациональных режимов произведено математическое моделирование процесса обогащения круп.

Модель, описывающая процесс обогащения круп железом и цинком, была представлена в виде уравнений динамики процесса в пространстве состояний. Она получена в виде нелинейной системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений относительно двух переменных: индекса  $i$  концентрации элемента Си температуры  $T$  с учетом начальных условий, задаваемых значениями  $C_0$  и  $T_0$ :

$$\frac{di}{dt} = rC(t)(T(t) - T_0), \quad (3.6)$$

$$\frac{dT}{dt} = (1 - k)T_0 + kT(t) - rsi(t)C(t), \quad (3.7)$$

$$C(t) = C_0 + i(t)C_p, \quad C(0) = C_0, T(0) = T_0; \quad (3.8)$$

Для перловой крупы при частоте ультразвука 35 кГц решение системы уравнений (1)–(3) представлено в виде следующей логистической функции (см. рисунок 3.1):

$$i(t) = \frac{i_{\max}}{1 + \exp[-(b_0 + b_1 t)]} = \frac{0,54}{1 + \exp[-(-0,655 - 0,09t)]}. \quad (3.9)$$

Индексы обогащения, полученные на основе эмпирических данных для перловой и овсяной круп, обогащенных железом, представлены в приложении В (таблицы В.1, В.2).

Полученные уравнения регрессии имеют вид

$$\begin{aligned} C(t, T) &= (m_1 t + m_0)(n_1 T + n_0)C_p + C_0 = \\ &= k_0 C_p + k_1 C_p t + k_2 C_p T + k_{1,2} C_p t T + C_0. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Для решения задачи обогащения перловой крупы получены математические модели (3.10) со следующими значениями коэффициентов:

- при частоте ультразвука 35 кГц:  
 $(m_1 = -6,81, m_0 = 24,74), (n_1 = -0,0016, n_0 = -0,000032); \quad (3.11)$   
 $k_0 = -0,001, k_1 = 0,00022, k_2 = -0,04, k_{1,2} = 0,011;$

- при частоте ультразвука 42 кГц:  
 $(m_1 = 0,0052, m_0 = 0,0808), (n_1 = 0,034, n_0 = 1,8555), \quad (3.12)$   
 $k_0 = 0,1500, k_1 = 0,0096, k_2 = 0,1150, k_{1,2} = 0,356.$

Для решения задачи обогащения овсяной крупы получены математические модели:

- при частоте ультразвука 35 кГц:

$$(m_1 = -0,0393, m_0 = 0,6354), (n_1 = -0,01298, n_0 = -0,9563); \quad (3.13)$$
$$k_0 = -0,6077, k_1 = 0,0376, k_2 = -0,0083, k_{1,2} = 0,0513;$$

- при частоте ультразвука 42 кГц:

$$(m_1 = -0,00024, m_0 = 0,00204), (n_1 = 0,907, n_0 = 52,9669); \quad (3.14)$$
$$k_0 = 0,1059, k_1 = 0,0127, k_2 = 0,0018, k_{1,2} = 0,00022.$$

По полученным уравнениям найдены расчетные значения индексов обогащения (таблицы В.5 и В.6) и остатки рассогласований между модельными и эмпирическими значениями данного коэффициента (таблицы В.9 и В.10). Расчет сумм квадратов остатков для каждой отдельной крупы и частоты, а также часть суммарной дисперсии  $R^2$ , объясняемой построенной моделью, и проверка значимости коэффициентов регрессии по формулам и соотношению из выражения (3.5), показали, что коэффициент детерминации для реализаций отдельных серий экспериментов, реализованных по схеме ПФЭ  $2^5$ , изменяется в диапазоне от 0,94 до 0,99. Так для перловой крупы и частоты 35 кГц сумма квадратов составила 0,008 и  $R^2 = 0,981$ , для частоты 42 кГц  $-0,027$  и  $R^2 = 0,976$ . У овсяной крупы для частоты 35 кГц сумма квадратов составила 0,054, и  $R^2 = 0,981$ , для частоты 42 кГц  $-0,012$  и  $R^2 = 0,993$ .

Погрешность расчетных значений содержания микроэлементов от экспериментальных не превышает 5 %, следовательно, все полученные модели адекватно описывают процесс обогащения.

По приведенной методике также были получены модели, описывающие процесс обогащения круп цинком (см. приложение Б).

### **3.4. Обоснование возможности использования природной минеральной воды при производстве обогащенных круп**

С давних времен людям было известно об уникальных целебных свойствах минеральной воды. Красноярский край исключительно богат лесными, водными и минеральными ресурсами. Одним из таких природных богатств является Кожановское месторождение минеральных вод.

Лечебно-столовая минеральная вода «Кожановская» относится к гидрокарбонатной, магниево-кальциевой группе. В настоящее время на территории месторождения существует 32 скважины, полученная вода используется как в пищевых целях, так и для лечения больных с заболеваниями сердечно-сосудистой и эндокринной систем, желудочно-кишечного тракта и ряда других заболеваний.

Широкий спектр лечимых заболеваний обусловлен уникальными свойствами минеральной воды. Воды Кожановского месторождения – воды с повышенным содержанием железа и ряда микроэлементов.

В связи с доказанными положительными свойствами данной воды было принято решение о ее исследовании с целью обоснования пригодности для обогащения крупяных продуктов в ультразвуковом поле. Для этого в соответствии с нормативной документацией на минеральные воды [60] был исследован широкий спектр показателей. Полученные данные представлены в таблицах 3.9–3.11.

Таблица 3.9 – Органолептические показатели воды Кожановского месторождения

Показатель	Характеристика	Требования ГОСТ Р 54316-2011 [166]
Прозрачность	Прозрачная жидкость без посторонних включений	Прозрачная жидкость без посторонних включений. Допускается естественный осадок минеральных солей
Цвет	Жидкость с желтоватым оттенком	Бесцветная жидкость или с оттенками от желтоватого до зеленоватого
Вкус и запах	Характерный для среднеминерализованных железистых вод	Характерные для комплекса содержащихся в воде веществ

Таблица 3.10 – Характеристика воды Кожановского месторождения

Показатель	Концентрация	Норма
1	2	3
Fe, мг/л	18,61 ± 2,79	-
Zn, мг/л	0,019 ± 0,006	-
Na, мг/л	34,65 ± 5,20	-
K, мг/л	26,79 ± 1,88	-
Mn, мг/л	1,82 ± 0,31	-
Al, мг/л	Менее 0,02	-
Sr, мг/л	4,48 ± 0,67	25,0

1	2	3
Cr, мг/л	Менее 0,02	-
Ag, мг/л	Менее 0,01	-
Cu, мг/л	0,013± 0,004	1,0
Ni, мг/л	Менее 0,015	-
Cd, мг/л	Менее 0,001	0,003
Pb, мг/л	Менее 0,02	0,01
Ca, мг/л	506,0 ± 10,6	-
Mg, мг/л	145,9 ± 3,1	-
pH	6,8 ± 0,2	-
Нитраты, мг/л	0,98 ± 0,18	50,0
Нитриты, мг/л	Менее 0,003	2,0
Аммоний ион, мг/л	Менее 0,1	-
Сульфаты, мг/л	74,2 ± 8,2	-
Фосфаты, мг/л	0,020 ± 0,007	-
Фториды, мг/л	0,252 ± 0,025	-
Хлориды, мг/л	4,20 ± 0,35	-
Карбонаты, мг/л	Менее 6,0	-
Гидрокарбонаты, мг/л	2000,8 ± 240,1	-
Щелочность, ммоль/л	32,8 ± 2,6	-
Жесткость, Жо	37,3 ± 5,6	-
Сухой остаток, мг/л	1830,4 ± 25,6	-
Окисляемость перманганатная	0,48 ± 0,10	-
ГХЦГ	Менее 0,001	-
ДДТ	Менее 0,002	-
24-Д	Менее 0,005	-

Таблица 3.11 – Микробиологическая характеристика воды  
Кожановского месторождения

Показатель	Содержание	Требования по ГОСТ
КМАФАнМ, * КОЕ/см	37	Не более 100
БГКП (колиформные бактерии), КОЕ/100 см	Не обнаружено	Отсутствие
БГКП (колиформные бактерии) фекальные, КОЕ/100 см	Не обнаружено	Отсутствие
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , КОЕ/дм	Не обнаружено	Отсутствие



В результате проведенных лабораторных испытаний воды Кожановского месторождения было выявлено, что данная вода соответствует ГОСТ Р 54316-2011 [60] и может быть использована для пищевых целей, в том числе и для обогащения крупяных продуктов.

Кроме того, стоит отметить, что в воде содержится достаточно большое содержание железа – 18,61 мг/л. Это, несомненно, является положительным фактором для использования данной воды в качестве сырья при обогащении.

### **3.5. Общие требования к обогащению овсяной и перловой крупы**

Проведенный комплекс практических и теоретических исследований позволяет определить режимы для получения обогащенной перловой и овсяной крупы.

Стоит отметить, что в соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 [141] крупа может относиться к группе обогащенных продуктов в случае, когда содержание в ней искомого микроэлемента или витамина не менее чем 15 % и не более чем 50 % в 50 г от суточной нормы. В то же время МР 2.3.1.2432-08 [109] устанавливает нормы физиологической потребности в железе на уровне от 8 до 22 мг/сут, цинка от 9,5 до 15 мг/сут для различных групп населения Российской Федерации. В связи с этим можно заключить:

- при среднесуточной потребности железа в 8–22 мг [109] крупяной обогащенный продукт должен содержать от 24 до 220 мг/кг;
- при среднесуточной потребности цинка в 9,5–15 мг [109] крупяной обогащенный продукт должен содержать от 28,5 до 150 мг/кг.

В соответствии с требованиями регламентирующих документов [109, 141, 166, 167] основными корректирующими показателями для обогащенных круп являются:

- Обогащенный крупяной продукт должен содержать железа не менее чем 24 мг/кг, цинка 28,5 мг/кг, так как содержание микроэлемента в 50 г крупы должно быть не менее 15 % от суточной потребности.

- При обогащении микроэлементами одной порции крупы весом 50 г, на уровень в 5 и 10 % от суточной потребности:

- содержание железа для овсяной крупы должно составлять не менее 33,19 и 41,19 мг/кг, цинка 30,33 и 39,83 мг/кг соответственно;

- для перловой крупы содержание железа – не менее 26,62 и 34,62 мг/кг, цинка – 33,95 и 43,45 мг/кг соответственно.

- Кислотность продукта должна составлять не более 5,5 градусов кислотности. Большая кислотность не целесообразна (приводит к быстрой порче продукта, ухудшению его физико-химических и органолептических свойств).

- При выборе между большим временем обработки или большей начальной температурой для достижения заданного результата предпочтение отдавалось режимам с меньшим временем воздействия.

### **3.6. Режимы обогащения крупяных продуктов при использовании искусственно минерализованной воды с концентрацией элемента 65 мг/л**

Используя приведенные в предыдущем разделе принципы, были подобраны режимы для процесса обогащения овсяной и перловой крупы растворами с концентрацией элемента 65 мг/л, отвечающие представленным требованиям. Установлено, что оптимальными условиями практически во всех случаях стали 10-минутные обработки с начальной температурой в 25 °С.

Исключениями являются варианты обогащения порции овсяной крупы цинком и железом на 10% от суточной потребности, для достижения данной задачи потребовалось увеличить начальную температуру на 5 °С, и характеристики стали иметь вид – 10-минутные обработки с начальной температурой 30 °С.

Стоит отметить, что во многих случаях эффект достигался до наступления 10-минутного отрезка времени, однако так как меньшие промежутки не рассматривались при постановке эксперимента, следовательно их нельзя брать в расчет, согласно этому были приняты характеристики в 10 минут и 25 °С.

Продукты, полученные с применением выбранных режимов, имеют относительно низкую кислотность, что благоприятно сказывается на сроке дальнейшего гарантированного хранения готовой продукции.

### **3.7. Обогащение крупы железом с использованием природной минеральной воды**

В предыдущих разделах были выявлены основные закономерности процесса обогащения крупяных продуктов микроэлементами, изучены физико-химические и органолептические показатели полу-

ченных круп. Однако полученные крупы явились лишь экспериментальным продуктом, произведенным с использованием искусственно минерализованных растворов микроэлементов.

Для организации реального процесса производства обогащенных круп целесообразно использовать природные минеральные воды. Поэтому выбор окончательных технологических характеристик режима ультразвукового обогащения круп можно осуществить, основываясь на характеристиках используемой природной минеральной воды. Стоит отметить, что характеристики используемой в процессе обогащения минеральной воды должны быть исследованы заранее.

### Обогащение овсяной крупы железом, оценка характеристик полученных продуктов

В соответствии с выведенными ранее уравнениями были составлены уравнения, описывающие процесс обогащения овсяной крупы природной минеральной водой Кожановского месторождения с содержанием железа 18,61 мг/л:

- обогащение овсяной крупы железом под действием ультразвука с частотой 35 кГц:

$$X = 18,61 \cdot (0,6354 - 0,0393 \cdot t + 0,00025 \cdot t^2) \cdot (-0,9563 - 0,01298 \cdot T) + 25,19; \quad (3.15)$$

- обогащение овсяной крупы железом под действием ультразвука с частотой 42 кГц:

$$X = 18,61 \cdot (0,00204 + 0,00024 \cdot t) \cdot (52,9669 + 0,907 \cdot T) + 25,19. \quad (3.16)$$

По данным уравнениям был произведен предварительный расчет конечных концентраций микроэлемента в продукте. Полученные расчетные значения представлены в таблице 3.12. Графическое отображение полученных данных представлено на рисунках 3.1 и 3.2 для частот 35 кГц и 42 кГц соответственно.

Поверхность отклика модели обогащения овсяной крупы железом с использованием минеральной воды Кожановского месторождения представлена на рисунках 3.14 и 3.15 для частот 35 кГц и 42 кГц соответственно.

Таблица 3.12 – Расчетные значения содержания железа в овсяной крупе, обогащенной с применением природной минеральной воды Кожановского месторождения

Температура, °С	Частота, кГц	Изменение содержания железа, мг/кг, во времени, мин					
		0	10	15	20	25	30
25	35	25,19	29,04	29,27	29,50	29,73	29,96
	42		34,47	35,15	35,83	36,51	37,19
30	35		31,62	32,00	32,39	32,77	33,15
	42		35,86	36,64	37,42	38,20	38,98
35	35		33,95	34,47	34,99	35,52	36,04
	42		37,24	38,13	39,01	39,89	40,77
40	35		36,02	36,67	37,31	37,96	38,61
	42		38,63	39,61	40,59	41,58	42,56
45	35		37,84	38,60	39,35	40,11	40,87
	42		40,02	41,10	42,18	43,27	44,35
50	35		39,41	40,26	41,11	41,96	42,81
	42		41,40	42,59	43,77	44,96	46,14
55	35		40,73	41,66	42,59	43,51	44,44
	42		42,79	44,07	45,36	46,64	47,93
60	35		41,79	42,79	43,78	44,77	45,76
	42		44,17	45,56	46,95	48,33	49,72

В соответствии с представленными ранее принципами (min  $t$  при условии выполнения всех условий и технологических требований) были подобраны режимы:

- Для частоты 35 кГц и обогащения на 5 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 35 °С в течение 10 минут.
- Для частоты 35 кГц и обогащения на 10 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 55 °С в течение 15 минут.
- Для частоты 42 кГц и обогащения на 5 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 25 °С в течение 10 минут.

- Для частоты 42 кГц и обогащения на 10 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 45 °С в течение 20 минут.

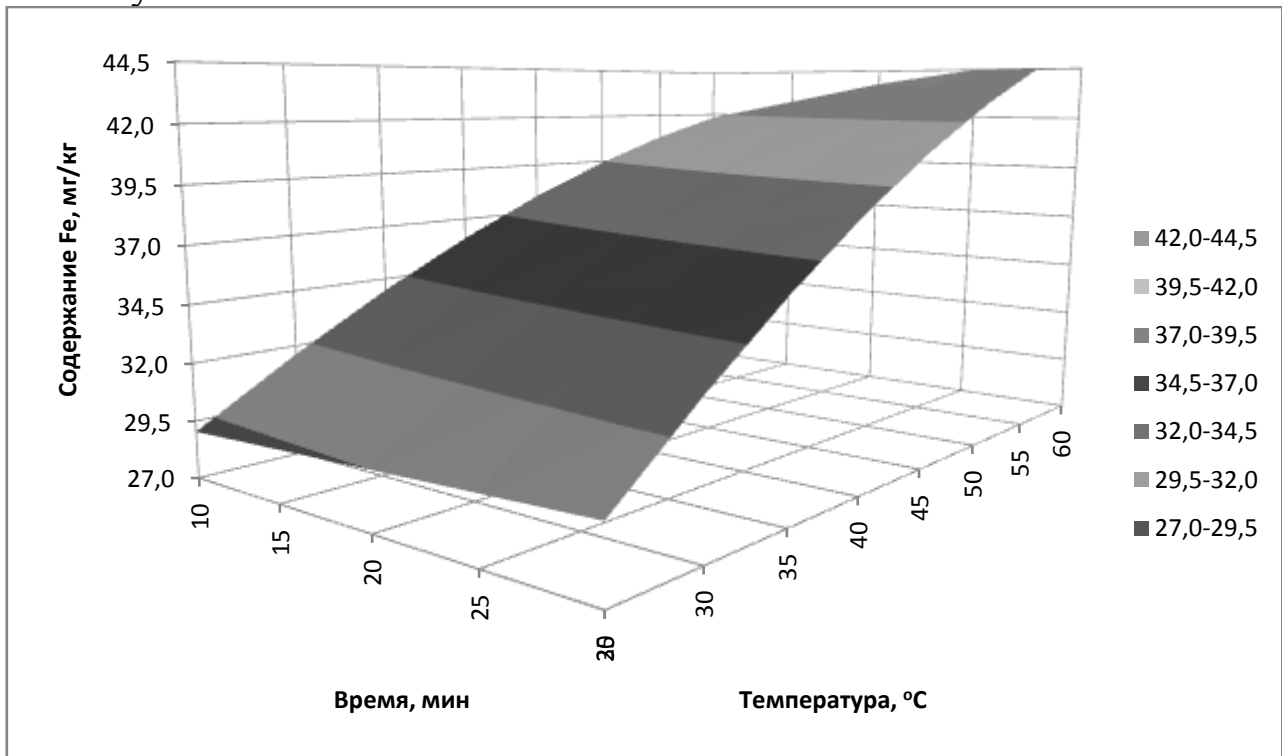


Рисунок 3.14 – Поверхность отклика модели обогащения овсяной крупы железом, с применением ультразвука частотой 35 кГц и минеральной воды Кожановского месторождения

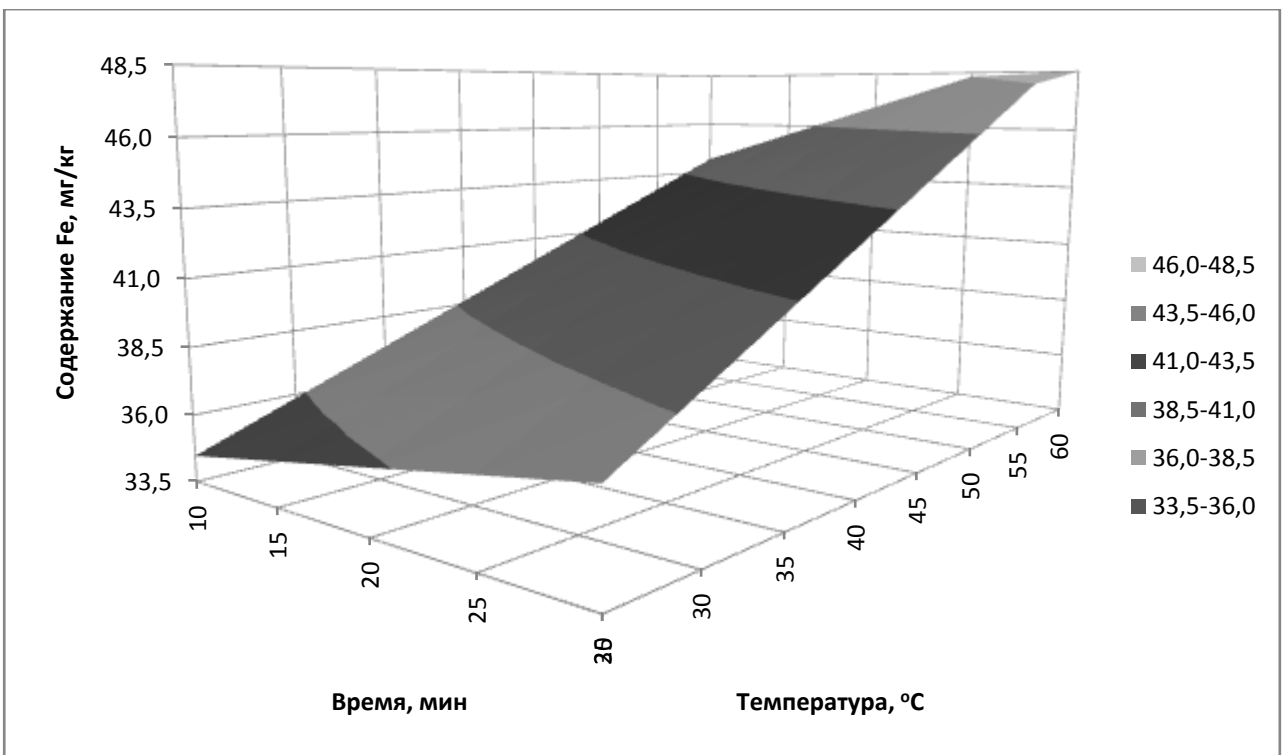


Рисунок 3.15 – Поверхность отклика модели обогащения овсяной крупы железом с применением ультразвука частотой 42 кГц и минеральной воды Кожановского месторождения

Исследованиями установлено, что целесообразно при обогащении минеральной водой Кожановского месторождения овсяной крупы на 5 % – использовать ультразвук с частотой 35 кГц, 10 % – 42 кГц.

На экспериментальной установке была получена обогащенная овсяная крупа. Обогащение происходило на расчетных режимах, с использованием природной минеральной воды Кожановского месторождения. В результате получили 4 вида овсяной крупы с разным содержанием железа.

Далее была произведена оценка полученных продуктов по различным органолептическим, физико-химическим показателям, а также показателям безопасности.

В соответствии с техническими условиями на крупу овсяную были определены основные органолептические показатели полученных продуктов. Стоит отметить, что запах и вкус продуктов, обогащенных на 5 % от суточной потребности, соответствуют нормальной овсяной крупе, а крупы, обогащенные на 10 % от суточной потребности, имеют легкий, едва уловимый, не портящий продукт, привкус железа. Цвет крупяных продуктов был серовато-светло-коричневый (темно-желтый).

Затем были определены такие характеристики, как содержание жира, крахмала, декстринов, клетчатки, а также определена кислотность полученных продуктов и их микробиологическое состояние (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Характеристика полученной овсяной крупы

Показатель	Овсяная крупа				
	без обогащения	обогащенная на 5 %		обогащенная на 10 %	
1	2	3	4	5	6
Частота ультразвука, кГц	-	35	42	35	42
Содержание железа, мг/кг	25,19 ± 0,70	33,82 ± 0,94	33,83 ± 0,94	42,07 ± 1,25	41,41 ± 1,15
Жир, %	4,93 ± 0,14	4,70 ±	4,73 ±	4,41 ±	4,11 ±

		0,12	0,12	0,11	0,09
Крахмал, %	59,02 ± 0,38	54,36 ± 0,35	52,17 ± 0,34	49,40 ± 0,32	43,38 ± 0,28

Окончание табл. 3.13

1	2	3	4	5	6
Декстрины, %	1,84	2,23	2,31	2,59	3,72
Клетчатка, %	3,21 ± 0,11	3,12 ± 0,10	3,11 ± 0,10	3,04 ± 0,10	2,92 ± 0,09
Общий сахар, %	3,14 ± 0,11	3,41 ± 0,12	3,33 ± 0,11	3,58 ± 0,13	3,92 ± 0,14
Кислотность, град	4,2 ± 0,4	5,3 ± 0,5	5,1 ± 0,5	5,4 ± 0,5	5,2 ± 0,5
Микробиология, КОЕ/г	3,4 · 10 <sup>3</sup>	2,1 · 10 <sup>3</sup>	3,2 · 10 <sup>2</sup>	2,0 · 10 <sup>3</sup>	4,4 · 10 <sup>2</sup>

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в результате реализации выбранных режимов обогащения получают крупяные продукты с требуемым содержанием железа, а также с повышенным содержанием углеводов в более доступных биологических формах, при этом у них пониженная бактериальная контаминация, а кислотность соответствует требованиям регламентирующей документации.

#### Обогащение перловой крупы железом, оценка характеристик полученных продуктов

По тому же принципу, что и для овсяной крупы, были составлены уравнения частных случаев для перловой крупы, описывающие обогащение продуктов природной минеральной водой с концентрацией 18,61 мг/л (3.28) и (3.29):

Обогащение перловой крупы железом под действием ультразвука с частотой 35 кГц:

$$X = 18,61 \cdot (24,74 - 6,81 \cdot t) \cdot (-0,0016 - 0,000032 \cdot T) + 18,62. \quad (3.17)$$

Обогащение перловой крупы железом под действием ультразвука с частотой 42 кГц:

$$X = 18,61 \cdot (0,0808 + 0,0052 \cdot t) \cdot (1,8555 + 0,034 \cdot T) + 18,62. \quad (3.18)$$

По полученным уравнениям были спрогнозированы концентрации железа после обработки (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Расчетные значения содержания железа в перловой крупе, обогащенной водой Кожановского месторождения

Температура, °С	Частота, кГц	Изменение содержания железа, мг/кг, во времени, мин					
		0	10	15	20	25	30
25	35	18,62	23,82	24,25	24,68	25,12	25,55
	42		27,19	27,86	28,52	29,18	29,85
30	35		25,03	25,57	26,10	26,64	27,17
	42		28,25	28,99	29,74	30,48	31,23
35	35		26,25	26,89	27,52	28,16	28,79
	42		29,30	30,13	30,95	31,78	32,61
40	35		27,47	28,20	28,94	29,68	30,41
	42		30,35	31,26	32,17	33,08	33,99
45	35		28,68	29,52	30,36	31,20	32,04
	42		31,41	32,40	33,39	34,38	35,37
50	35		29,90	30,84	31,78	32,72	33,66
	42		32,46	33,53	34,61	35,68	36,75
55	35		31,11	32,16	33,20	34,24	35,28
	42		33,52	34,70	35,82	36,98	38,13
60	35		32,33	33,47	34,62	35,76	36,90
	42		34,57	35,81	37,04	38,28	39,51

После введения корректирующих характеристик наиболее подходящими режимами были выбраны:

- Для частоты 35 кГц и обогащения на 5 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 35 °С в течение 15 минут.
- Для частоты 35 кГц и обогащения на 10 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 60 °С в течение 20 минут.
- Для частоты 42 кГц и обогащения на 5 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 10 °С в течение 10 минут.
- Для частоты 42 кГц и обогащения на 10 % от суточной потребности – обработка с начальной температурой 50 °С в течение 20 минут.



Поверхность отклика модели обогащения перловой крупы железом с использованием минеральной воды Кожановского месторождения представлена на рисунках 3.16 и 3.17 для частот 35 и 42 кГц соответственно.

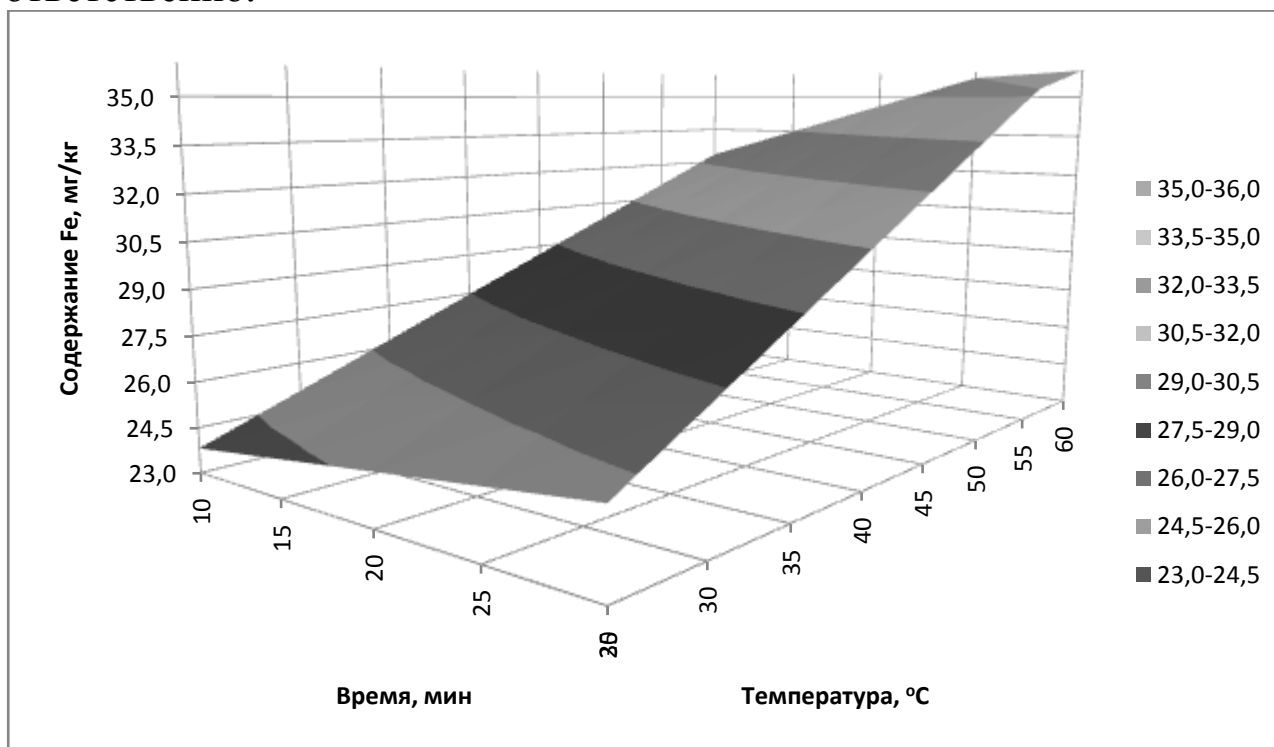


Рисунок 3.16 – Поверхность отклика модели обогащения перловой крупы железом с применением ультразвука частотой 35 кГц и минеральной воды Кожановского месторождения

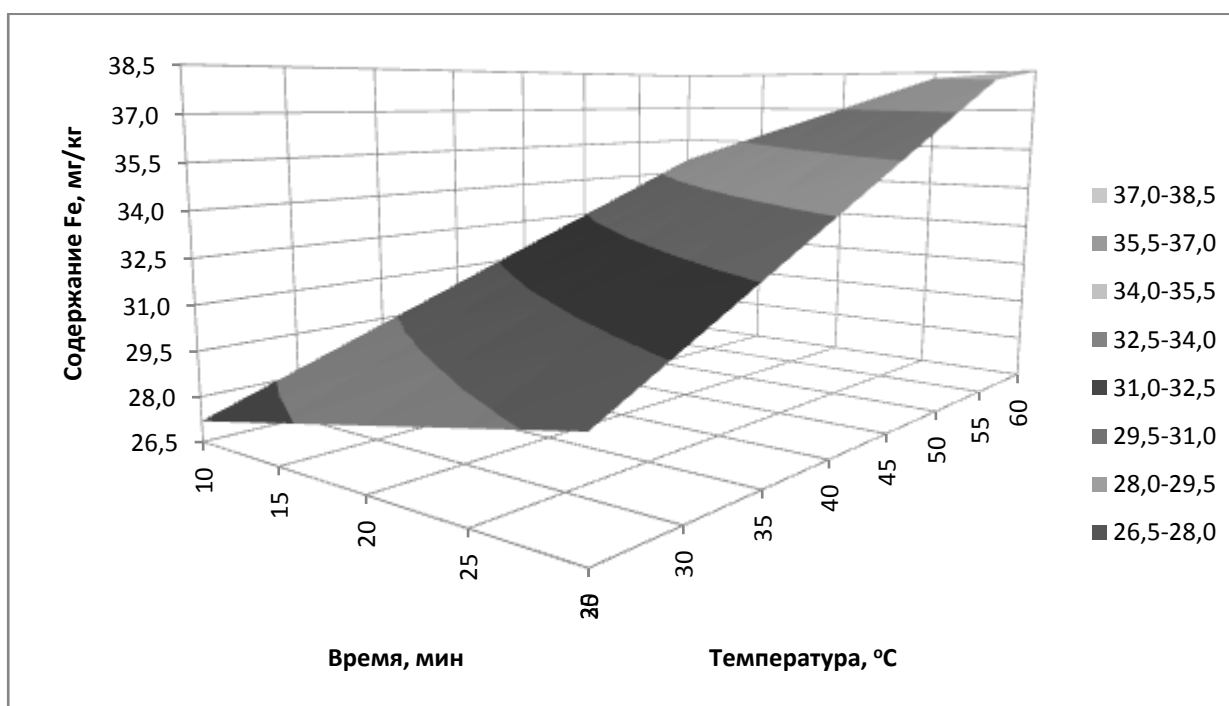


Рисунок 3.17 – Поверхность отклика модели обогащения перловой крупы железом с применением ультразвука частотой 42 кГц и минеральной воды

## Кожановского месторождения

С учетом всех положительных и отрицательных сторон выявлена целесообразность при обогащении перловой крупы минеральной водой Кожановского месторождения на 5 % использовать ультразвук частотой 35 кГц, 10 % – 42 кГц.

В ходе проверки теоретических режимов выбранные режимы были воспроизведены, а получившиеся продукты оценены (таблица 3.15).

В соответствии с техническими условиями на крупу перловую [166] были определены основные органолептические показатели полученных продуктов. Стоит отметить, что запах и вкус обогащенных продуктов соответствуют нормальной овсяной крупе. Цвет крупяных продуктов стал серовато-желтым.

Из представленных данных видно, что все полученные продукты имеют требуемое содержание микроэлемента, все остальные характеристики также являются удовлетворительными.

Таблица 3.15 – Характеристика полученной перловой крупы

Показатель	Перловая крупа				
	без обогащения	обогащенная на 5 %		обогащенная на 10 %	
Частота ультразвука, кГц	-	35	42	35	42
Содержание железа, мг/кг	18,62 ± 0,52	26,99±0,75	27,68±0,77	35,01±0,97	34,94±0,97
Жир, %	1,29 ± 0,06	1,04 ± 0,04	1,15 ± 0,05	0,73 ± 0,03	0,69 ± 0,02
Крахмал, %	74,48 ± 0,47	69,27 ± 0,44	70,10 ± 0,44	57,24 ± 0,37	58,02±0,37
Декстрины, %	0,97	1,1	1,0	1,9	1,7
Клетчатка, %	1,24 ± 0,06	1,13 ± 0,05	1,20± 0,05	1,07± 0,05	1,03± 0,05
Общий сахар, %	2,12 ± 0,08	2,63 ± 0,09	2,49 ± 0,09	3,60 ± 0,13	3,57 ± 0,13
Кислотность, град	3,1 ± 0,2	3,7 ± 0,2	4,0 ± 0,2	4,5 ± 0,3	4,0 ± 0,2
Микробиология, КОЕ/г	2,7 · 10 <sup>3</sup>	1,4 · 10 <sup>3</sup>	1,7 · 10 <sup>3</sup>	1,1 · 10 <sup>2</sup>	2,2 · 10 <sup>2</sup>

## Оценка безопасности полученных продуктов

Необходимость оценки безопасности продуктов питания в общем, а функциональных продуктов в особенности является первостепенной задачей производителя, поскольку именно обеспечение продовольственной безопасности является одним из первостепенных факторов, влияющих на здоровье населения. Кроме того, на сегодняшний момент практически все страны мира имеют свои программы по обеспечению населения только качественными, безопасными продовольственными товарами. Поэтому исследования безопасности полученных обогащенных крупяных продуктов являются особенно важной задачей [77].

Испытания проводились на базе испытательной лаборатории ФГБУ «Референтный центр Россельхознадзора», имеющей аккредитацию по данному направлению. Испытания проводились только для продуктов, выработанных на выбранных режимах.

Безопасность крупяных продуктов оценивалась по следующим показателям:

- содержание тяжелых металлов (кадмий, мышьяк, свинец, ртуть);
- остаточное содержание пестицидов (ДДТ и его метаболитов, ГХЦГ и его изомеров, 2,4-Д кислоты, ртутьорганические пестициды);
- содержание радионуклидов (цезий-137);
- наличие токсинов (афлатоксин В1, ДОН, зеараленон, охратоксин А, Т-2).

Результаты испытаний представлены в таблицах 3.16–3.18.

Таблица 3.16 – Показатели безопасности овсяных круп

Крупа	Тяжелые металлы, мг/кг			
	Cd	As	Pb	Hg
1	2	3	4	5
Требования СанПиН 2.3.2.1078-01	0,1	0,2	0,5	0,03
Исходная	0,041 ± 0,02	0,015 ± 0,006	0,05 ± 0,03	0,0005 ± 0,0003
Обогащенная на 5 %	0,035 ± 0,02	0,018 ± 0,006	0,04 ± 0,02	0,008 ± 0,0003

Обогащенная на 10 %	0,03 ± 0,01	0,017 ± 0,006	0,06 ± 0,03	0,009 ± 0,0003
<i>Остаточное количество пестицидов, мг/кг</i>				
Крупа	ДДТ	ГХЦГ	2,4-Д	Hg-пестициды

Окончание табл. 3.16

1	2	3	4	5
Требования СанПиН 2.3.2.1078-01	0,02	0,5	Не допускается	Не допускается
Исходная	Менее 0,002	Менее 0,001	Не обнаружено	Не обнаружено
Обогащенная на 5 %	Менее 0,002	Менее 0,001	Не обнаружено	Не обнаружено
Обогащенная на 10 %	Менее 0,002	Менее 0,001	Не обнаружено	Не обнаружено
Крупа	<i>Радионуклиды (цезий-137), Бк/кг</i>			
Требования СанПиН 2.3.2.1078-01	60			
Исходная	Менее 14			
Обогащенная на 5 %	Менее 17			
Обогащенная на 10 %	Менее 21			

Таблица 3.17 – Показатели безопасности перловых круп

Крупа	Тяжелые металлы, мг/кг			
	Cd	As	Pb	Hg
Требования СанПиН 2.3.2.1078-01	0,1	0,2	0,5	0,03
Исходная	0,05 ± 0,03	0,021 ± 0,008	0,05 ± 0,03	0,0007 ± 0,0003
Обогащенная на 5 %	0,06 ± 0,03	0,026 ± 0,010	0,06 ± 0,03	0,0005 ± 0,0003
Обогащенная на 10 %	0,05 ± 0,03	0,023 ± 0,009	0,08 ± 0,03	0,008 ± 0,0003
Крупа	<i>Остаточное количество пестицидов, мг/кг</i>			
	ДДТ	ГХЦГ	2,4-Д	Hg-пестициды
По СанПиН 2.3.2.1078-01	0,02	0,5	Не допускается	Не допускается

Исходная	Менее 0,002	Менее 0,001	Не обнаружено	Не обнаружено
Обогащенная на 5 %	Менее 0,002	Менее 0,001	Не обнаружено	Не обнаружено
Обогащенная на 10 %	Менее 0,002	Менее 0,001	Не обнаружено	Не обнаружено

Окончание табл. 3.17

Крупа	<i>Радионуклиды (цезий-137), Бк/кг</i>
По СанПиН 2.3.2.1078-01	60
Исходная	Менее 12
Обогащенная на 5 %	Менее 16
Обогащенная на 10 %	Менее 18

Таблица 3.18 – Содержание микотоксинов в перловых и овсяных крупах

Крупа	Содержание микотоксинов, мг/кг				
	В1	ДОН	T2	Зеараленон	Охратоксин А
Овсяная крупа					
По СанПиН 2.3.2.1078-01	0,005	-	0,1	-	0,005
Исходная	<0,001	<0,2	<0,02	0,07±0,01	<0,005
Обогащенная на 5 %	<0,001	<0,2	<0,02	0,05±0,01	<0,005
Обогащенная на 10 %	<0,001	<0,2	<0,02	0,05±0,01	<0,005
Перловая крупа					
По СанПиН 2.3.2.1078-01	0,005	1,0	0,1	0,2	0,005
Исходная	0,0022±0,0003	<0,2	<0,02	0,08±0,01	<0,005
Обогащенная на 5 %	0,0019±0,0003	<0,2	<0,02	0,08±0,01	<0,005
Обогащенная на 10 %	0,0024±0,0004	<0,2	<0,02	0,07±0,01	<0,005

По показателям безопасности полученные крупяные продукты полностью соответствуют требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 [141]. Из этого следует, что разработанная технология обогащения крупя-

ных продуктов под действием ультразвука не является опасной для здоровья человека.

### Исследование стойкости крупяных продуктов при хранении

Хранение, упаковка и транспортировка крупяных продуктов регламентируется ГОСТ 26791-89 [45]. В документе содержится две градации с установленными сроками хранения – в соответствии с регионом, в котором будет находиться крупа.

Руководствуясь мыслью, что заранее неизвестно, где будет реализована технология получения обогащенных перловой и овсяной круп, куда они будут транспортированы и в каких условиях будут храниться, за сроки хранения выбрали меньшие значения – то есть для овсяной крупы – 6 месяцев, для перловой 12 месяцев. При этом температура окружающей среды должна быть не более 25 °С, относительная влажность воздуха – не выше 70 %.

О стойкости крупяных продуктов судили по изменению их кислотности в процессе хранения. Для сокращения времени исследования был применен метод «ускоренного старения» при повышенной температуре. Хранили продукт в вакуумных пакетах, в термостатах с выставленной температурой 45 °С. Срок годности подсчитывали по формуле

$$C = C_3 \cdot K, \quad (3.19)$$

где  $C_3$  – экспериментальный срок годности;

$K$  – коэффициент соответствия.

Коэффициент соответствия определяли по формуле

$$K = A \cdot (T_3 - T_{xp}/10), \quad (3.20)$$

где  $A$  – температурный коэффициент скорости химической реакции, принятый из правил Вант-Гоффа равным 2;

$T_3$  – экспериментальная температура хранения, °С;

$T_{xp}$  – рекомендуемая температура хранения, °С.

Также стоит учитывать, что экспериментальный срок хранения следует производить с запасом. Для крупяных продуктов запас составлять 15 % от предполагаемого срока годности, то есть экспериментальный срок годности для овсяной крупы составляет 7 месяцев, для перловой 14 месяцев.

Исходя из вышеперечисленного,  $K = 2 \cdot (45 - 25/10) = 4$ .

Пользуясь полученными данными, можно определить длитель-

ность эксперимента, которая может быть подсчитана как отношение гарантированного срока хранения к коэффициенту соответствия. В этом случае для овсяной крупы он составит 2 месяца, что соответствует 8 месяцам обычного хранения. Для перловой крупы экспериментальный срок хранения 3,5 месяца, или 14 месяцев при рекомендуемых условиях.

Стойкость крупы при хранении определяли по изменению кислотности продуктов (таблица 3.19), а также по общему содержанию мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (таблица 3.20).

Таблица 3.19 – Изменение кислотности крупы в процессе хранения

Наименование	Изменение кислотности продуктов, град/сут											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	105
Исходная овсяная крупа	4,2±0,4	4,2±0,4	4,2±0,4	4,3±0,4	4,6±0,4	4,8±0,4	5,1±0,5	-	-	-	-	-
Овсяная крупа, 35 кг ц, 5%	5,3±0,5	5,3±0,5	5,3±0,5	5,4±0,5	5,5±0,5	5,7±0,5	5,9±0,5	-	-	-	-	-
Овсяная крупа, 35 кг ц, 10%	5,4±0,5	5,4±0,5	5,5±0,5	5,6±0,5	5,7±0,5	5,8±0,5	6,0±0,5	-	-	-	-	-
Овсяная крупа, 42 кг ц, 5%	5,1±0,5	5,1±0,5	5,1±0,5	5,1±0,5	5,2±0,5	5,5±0,5	5,7±0,5	-	-	-	-	-
Овсяная крупа, 42 кг ц, 10%	5,2±0,5	5,2±0,5	5,2±0,5	5,3±0,5	5,5±0,5	5,7±0,5	5,9±0,5	-	-	-	-	-
Исходная перловая крупа	3,1±0,2	3,1±0,2	3,1±0,2	3,1±0,2	3,2±0,2	3,2±0,2	3,3±0,2	3,4±0,2	3,6±0,2	3,8±0,2	4,0±0,2	4,1±0,2
Перловая крупа, 35 кг ц, 5%	3,7±0,2	3,7±0,2	3,7±0,2	3,8±0,2	3,8±0,2	3,9±0,2	4,0±0,2	4,1±0,2	4,3±0,3	4,5±0,3	4,7±0,3	5,0±0,3
Перловая крупа, 35 кг ц, 10%	4,5±0,3	4,5±0,3	4,6±0,3	4,7±0,3	4,8±0,3	5,0±0,3	5,1±0,3	5,3±0,3	5,5±0,3	5,6±0,3	5,8±0,3	6,0±0,4
Перловая крупа, 42 кг ц, 5%	4,0±0,2	4,0±0,2	4,1±0,2	4,1±0,2	4,2±0,3	4,3±0,3	4,5±0,3	4,7±0,3	4,9±0,3	5,0±0,3	5,2±0,3	5,4±0,3
Перловая крупа, 42 кг ц, 10%	4,0±0,2	4,0±0,2	4,1±0,2	4,2±0,3	4,3±0,3	4,5±0,3	4,6±0,3	4,8±0,3	5,1±0,3	5,3±0,3	5,5±0,3	5,7±0,3



Таблица 3.20 – Изменение микрофлоры в процессе хранения крупы

Наименование	КМАФАнМ, КОЕ/г				
	0	30	60	90	105
Необработанная овсяная крупа	$3,4 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^3$	-	-
Овсяная крупа, 35 кгц, 5 %	$2,1 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$	-	-
Овсяная крупа, 35 кгц, 10 %	$3,2 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	-	-
Овсяная крупа, 42 кгц, 5 %	$2,0 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	-	-
Овсяная крупа, 42 кгц, 10 %	$4,4 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^2$	-	-
Необработанная перловая крупа	$2,7 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$
Перловая крупа, 35 кгц, 5 %	$1,4 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$
Перловая крупа, 35 кгц, 10 %	$1,1 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^2$	$4,5 \cdot 10^2$
Перловая крупа, 42 кгц, 5 %	$1,7 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$
Перловая крупа, 42 кгц, 10 %	$2,2 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^2$	$4,8 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^2$

Из полученных данных видно, что испытываемые крупяные продукты на протяжении всего срока годности при использовании вакуумного хранения готовой продукции соответствуют предъявляемым требованиям технических условий и [166,167], СанПиН 2.3.2.1078-01 [141], которые ограничивают максимальную кислотность на уровне 6 градусов кислотности и содержание КМАФАнМ не более  $1 \cdot 10^4$  КОЕ/г.

Обратим внимание на то, что решающим фактором при хранении является именно вакуумная упаковка продукта – она препятствует проникновению свободного кислорода к продукту, тем самым замедляет негативный процесс окисления различных составляющих крупы, а также препятствует развитию аэробных микроорганизмов. Кроме того, вакуумная упаковка продукта позволит избежать вторичной контаминации круп после процесса ультразвуковой обработки.

Если рассматривать изменения изучаемых показателей, то видно, что в процессе хранения увеличивается как кислотность продуктов, так и их контаминация, причем окисление продукта идет плавно,

а бактериальная обсемененность изменяется ступенчато. Содержание микроорганизмов в начале хранения увеличивается несколько быстрее, чем к концу регламентируемого периода, это происходит из-за того, что количество доступного кислорода сокращается, что влечет за собой естественное замедление в размножении аэробов.

Стоит отметить, что органолептические показатели полученных круп, прошедших экспериментальное хранение, остались неизменными, следовательно, все изменения, произошедшие на протяжении всего срока хранения, не нанесли урона качеству продуктов.

Исследование развариваемости полученных крупяных продуктов

Скорость приготовления продукта в последнее время носит решающее значения для потребителя. Так среднестатистический потребитель круп предпочитает выбрать продукт, который даст возможность сократить его временные затраты на приготовление пищи и высвободить его для других дел. По данным [165], время приготовления овсяной крупы варьирует от 60 до 80 минут, перловой от 40 до 45 минут. Такое длительное время приготовления отталкивает потребителей от классических овсяных и перловых круп в сторону круп со сниженным временем приготовления и круп моментального приготовления. В связи с тем, что кавитационные пузырьки при ультразвуковом обогащении воздействует на крупяные продукты подобно кипящей воде, они дают возможность сократить время варки круп. В соответствии с этим предположением было принято решение о выявлении сроков приготовления полученных крупяных продуктов.

Определение развариваемости вели в соответствии с нормативной документацией [38]. Для определения развариваемости крупы в водяную баню с 2/3 объема воды, доведенной до кипения, помещали стакан со 125 мл раствора поваренной соли, причем концентрация соли составляла 8 г/дм<sup>3</sup>, далее помещали навеску крупы весом 50 г, стакан накрывали металлической крышкой. Стоит отметить, что в соответствии с ГОСТом уровень воды в бане был выше уровня крупы в стакане, такой уровень поддерживался до конца варки. При варке овсяной крупы через 30 минут, а перловой через 25 минут ложечкой из середины стакана (на глубину ложечки) отбирали пробу из 5–6 крупинок на предметное стекло. Пробу накрывали сверху другим стеклом и вручную раздавливали крупинки между стеклами. Последующие пробы отбирают с интервалом в 1 минуту до готовности.

Готовой считали крупу, имеющую мягкую консистенцию, но не потерявшую геометрических форм, которая при раздавливании между стеклами не имела непроваренных частиц. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Развариваемость обогащенных круп

Крупа	Частота ультразвука, используемая для обогащения, кГц	Скорость приготовления каш из полученных круп, мин		
		Необогащенная	Обогащенная	
			5 %	10 %
Овсяная	35	52	42	37
	42		41	33
Перловая	35	45	36	29
	42		33	26

Из таблицы 3.21 видно, что кавитационная обработка круп существенно снижает время приготовления полученных продуктов. В связи с этим можно заключить, что обогащение круп в ультразвуковом поле, наряду со всеми остальными положительными моментами, несет в себе и уменьшение в положительную сторону такого важного показателя, как скорость приготовления продукта.

Исследования развариваемости обогащенных круп являлись последним определяемым показателем. После завершения запланированных экспериментов был разработан проект технических условий на новые обогащенные крупяные продукты (приложение Г).

### **3.8 Установка и принципиальная технологическая схема для обогащения круп**

Задачей установки для переработки обычных круп в обогащенные является возможность преобразования круп различных культур, например, ячменя, овса, пшеницы и других в функциональную крупу с повышенным содержанием определенного микроэлемента.

Для проведения эксперимента использовалась экспериментальная установка. Схема установки представлена на рисунке 3.18.

Установка работает следующим образом – сырье помещается в сетчатые емкости штатива и опускается в рабочий резервуар, одновременно с этим из бака для рабочего раствора посредством насоса-дозатора через патрубок поступает раствор, при завершении этих процессов включается источник ультразвуковых колебаний, под действием ультразвуковых колебаний происходит интенсификация процесса насыщения продукта раствором. После завершения обработки штатив удаляется, а остатки рабочего раствора сливаются с помощью патрубка для слива посредством насоса.

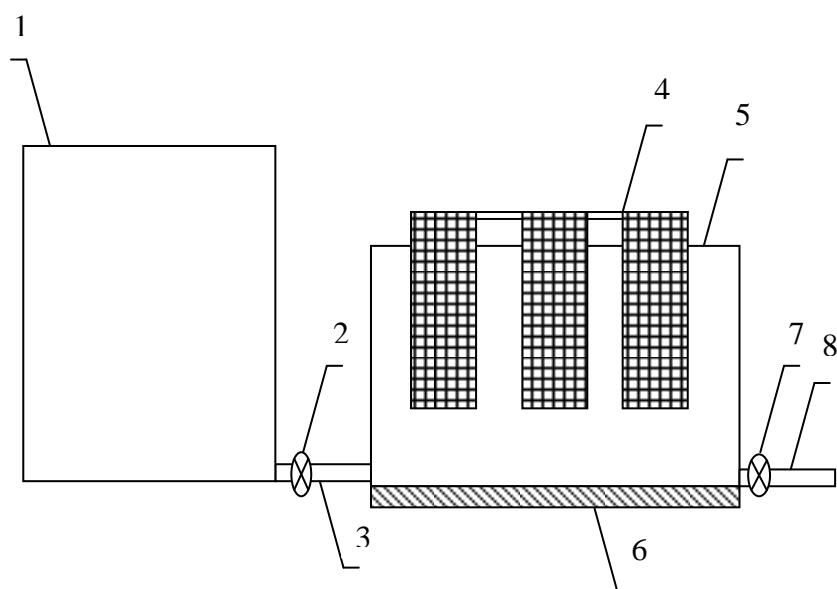


Рисунок 3.18 – Схема установки для производства обогащенных круп:  
 1 – резервуар-термос; 2 насос-дозатор; 3 – патрубок; 4 – штатив с сетчатыми емкостями; 5 – рабочий резервуар; 6 – источник ультразвуковых колебаний;  
 7 – насос; 8 – патрубок

Кроме того, стоит отметить, что для автоматизации процесса обогащения можно использовать модернизированный ленточный конвейер с закрепленными на нем сетчатыми емкостями для крупы и дозатор. В таком случае с помощью дозатора крупы будут засыпаться в сетчатые емкости и посредством ленточного конвейера транспортироваться в обогатительный резервуар, а после завершения технологического процесса посредством того же конвейера поступать на сушку и далее на упаковку.

При предложенной автоматизации производства общий вид технологической схемы получения обогащенных круп выглядит как совокупность средств предтехнологической обработки сырья, средств их отчистки, обработки, сушки и упаковки готовой продукции, а также средств их транспортировки между всеми аппаратами технологической линии. Принципиальная схема технологической линии представлена на рисунке 3.19.

Промышленный процесс производства состоит из 7 этапов.

1. Подготовка воды – вода проходит через фильтры грубой отчистки, где отчищается от песка, ила и других посторонних минеральных и органических примесей. После фильтрации вода попадает в резервуар-термос с нагревательным элементом, где доводится до нужной температуры.

2. Крупа посредством дозатора помещается в специальные сетчатые чаши, установленные на подвижной ленте, и доставляется в

ультразвуковой реактор, параллельно с этим в объем реактора закачивается подготовленная вода.

3. Этап облучения ультразвуком.

4. После окончания воздействия ультразвука лента с крупой движется дальше до аэродинамической сушилки.

5. Продукт подается в трубопровод сушилки, где подхватывается подогретым воздушным потоком от вентилятора. Проходя через аэродинамическую сушилку, продукт теряет влажность до 12 %. Далее в циклоне происходит отделение избытка воздуха.

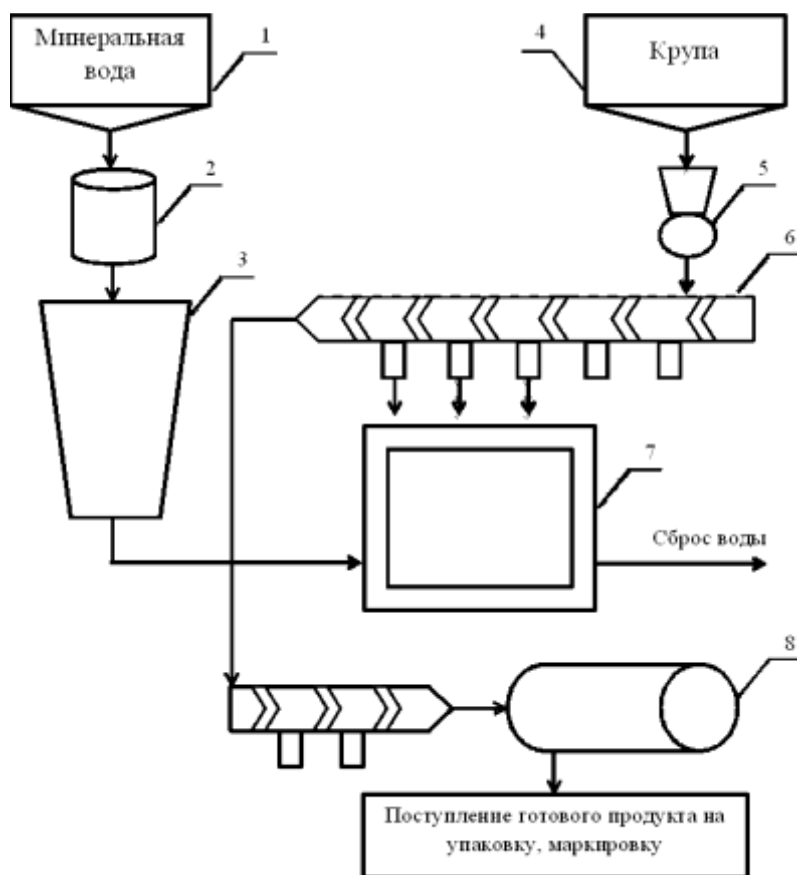


Рисунок 3.19 – Принципиальная технологическая схема производства обогащенных крупяных продуктов:

- 1 – резервуар для хранения воды; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – резервуар-термос с нагревательным элементом для хранения подготовленной воды; 4 – бункер для хранения крупы; 5 – дозатор; 6 – транспортер с установленными сетчатыми чашами для крупы; 7 – реактор; 8 – аэродинамическая сушилка

6. Следующим этапом является упаковка и маркировка продукта с помощью дозатора, упаковочной линии, например, DXDZ-250B, и вакуумного аппарата, например, МАХ-F42 (Z 2000), продукт сначала пакуется в специальные перфорированные пакеты для варки, затем в вакуумные пакеты, далее по 10 штук в картонные коробки.

7. Продукт поступает на склад готовой продукции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный комплекс теоретических исследований позволил предложить, обосновать и доказать возможность обогащения круп при помощи ультразвуковых технологий. Предложен способ получения обогащенных крупяных продуктов.

При изучении влияния основных технологических параметров на процесс обогащения и свойства обогащенных продуктов установлено:

- процесс обогащения идет интенсивнее при увеличении значений частоты ультразвука, температуры, продолжительности обработки;
- подавляющее влияние ультразвуковой кавитационной обработки на микрофлору обогащаемых крупяных продуктов;
- предельная концентрация цинка и железа в крупах, не влияющая отрицательно на органолептические свойства, для железа – 55 мг/кг, для цинка – 60 мг/кг.

Получено математическое описание процесса обогащения в виде систем стационарных уравнений (3.1), (3.2), (3.10) и динамических уравнений (3.6)–(3.9).

Подобраны режимы обогащения круп (порция крупы в 50 грамм обогащалась на 5 и на 10% от суточной потребности) с использованием минеральной воды Кожановского месторождения:

- для овсяной крупы – 5 % : 35 кГц : 35 °С : 10 минут; 10 % : 42 кГц : 45 °С : 20 минут;
- для перловой крупы – 5 % : 35 кГц : 35 °С : 15 минут; 10 % : 42 кГц : 50 °С : 20 минут.

Анализ обогащенных крупяных продуктов с использованием минеральной воды Кожановского месторождения показал, что срок хранения круп в вакуумных пакетах составляет: для овсяной крупы 6 месяцев, для перловой 12 месяцев; время приготовления круп снизилось с 19 до 42 %.

Разработана установка промышленного обогащения крупяных продуктов под действием ультразвука. По результатам исследований разработан проект технических условий для обогащенных круп.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдусь, П.Б. Определение качества зерна, муки, крупы / П.Б. Авдусь, А.С. Сапожникова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1976 – 336 с.
2. Автонюк, М.В. Возможности бальнеопрофилактики атеросклероза / М.В. Автонюк // Вопросы курортологии – 2001. – № 6. – С. 3–5.
3. Авцын, А.П. Микроэлементозы человека: моногр. / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
4. Агаджанян, Н.А. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека / Н.А. Агаджанян, А.В. Скальный. – М.: Изд-во КМК, 2001. – 83 с.
5. Агранат, Б.А. Основы физики и техники ультразвука / Б.А. Агранат, М.Н. Дубровин, Н.Н. Хавский. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с.
6. Акуличев, В.А. Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях / В.А. Акуличев. – М.: Наука, 1978. – 220 с.
7. Акуличев, В.А. Пульсации кавитационных полостей // Мощные ультразвуковые поля / В.А. Акуличев; под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1968. – Ч. 4. – С. 129–166.
8. Аниканова, З. Ячмень для крупяного производства / З. Аниканова, Т. Горпинченко // Хлебопродукты. – 2002. – №11. – С. 16–18.
9. Арзуманов, З.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях / З.С. Арзуманов. – М.: Энергия, 1978. – 303 с.
10. Асадулин, В. Цинк-дефицитные состояния – современные взгляды на проблему / В. Асадулин // Провизор. – 2001. – №8. – URL: [http://www.provisor.com.ua/archive/2001/N8/art\\_20.php](http://www.provisor.com.ua/archive/2001/N8/art_20.php).
11. Бабенко, Г.А. Микроэлементозы человека: патогенез, профилактика, лечение / Г.А. Бабенко // Микроэлементы в медицине. – 2001. – №1. – Т. 2. – С. 2–5.
12. Бакулина, О.Н. Фруктовые и овощные ингредиенты: новые виды новые возможности / О.Н. Бакулина // Пищевая пром-сть. – 2004. – № 3. – С. 94.
13. Балдаев, Р. Применения ультразвука / Р. Балдаев, В. Раджендран, П. Паланичами. – М.: Техносфера 2006. – 576 с.

14. Бархутова, Д.Д. Лечебные минеральные воды Бурятии / Д.Д. Бархутова, Э.В. Данилова, Б.Б. Намсараев // Актуальные вопросы восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии. – Иркутск: Аршан, 2009. – С. 10–13.
15. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 259 с.
16. Беляев, А.Д. Внутреннее применение азотнокремнистой гидрокарбонатно-сульфатной натриевой воды при гастродуоденальной патологии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.00 / А.Д. Беляев. – Томск, 1998. – 23 с.
17. Беляев, А.Д. Клиникофункциональное обоснование внутреннего применения азотно-кремнистой Анненской минеральной воды в комплексном лечении больных с гиперацидным состоянием / А.Д. Беляев, Н.А. Еникеева // Мат-лы II национального конгресса по натуротерапии и рекреации. – СПб., 1997. – С. 96–97.
18. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. – М.: ИИЛ, 1956. – 726 с.
19. Будкова, Е.А. Иммуноперекисные нарушения у больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки / Е.А. Будкова, Н.П. Шафер, Т.А. Кутепова // Материалы 4-й Российской гастроэнтерологической недели. – М., 1998. – С. 36.
20. Буйвол, В.Н. Тонкие каверны в течениях с возмущениями / В.Н. Буйвол. – Киев: Наук. думка, 1980. – 296 с.
21. Бутковский, В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии) / В.А. Бутковский, Е.М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 464 с.
22. Войткевич, Н.Д. Система научного и инженерного обеспечения здорового питания населения России / Н.Д. Войткевич // Пищевая пром-сть. – 1998. – №3. – С. 6–8.
23. Гомбоева, Н.Г. Микроэлементы и возможные патологии детского населения Читы / Н.Г. Гомбоева // Природоохранное сотрудничество: Россия, Монголия, Китай. – 2001. – №2. – С. 39–41.
24. Горбылева, Е.В. Исследование качественных характеристик зерновых суспензий и их использование при производстве продуктов питания: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Е.В. Горбылева. – Кемерово, 2008. – 175 с.
25. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 7 с.



- 26.ГОСТ 10845-98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 6 с.
- 27.ГОСТ 13496.2-91. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения сырой клетчатки. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 6 с.
- 28.ГОСТ 18164-72. Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 4 с.
- 29.ГОСТ 18165-89 Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия.– М.: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.
- 30.ГОСТ 18309-72. Вода питьевая. Метод определения содержания полифосфатов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 5 с.
- 31.ГОСТ 18963-73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 21 с.
- 32.ГОСТ 20239-74. Мука, крупа и отруби. Метод определения металломагнитной примеси, 1974.– М.: Издательство стандартов, 1988. – 4 с.
- 33.ГОСТ 23268.1-91. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения органолептических показателей и объема воды в бутылках. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 4 с.
- 34.ГОСТ 23268.5-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 15 с.
- 35.ГОСТ 23950-88. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации стронция. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 5 с.
- 36.ГОСТ 24481-80. Вода питьевая. Отбор проб. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 7 с.
- 37.ГОСТ 26312.1-84. Крупа. Правила приемки и методы отбора проб – М.: Издательство стандартов, 1984. – 6 с.
- 38.ГОСТ 26312.2-84. Крупа. Методы определения органолептических показателей, развариваемости гречневой крупы и овсяных хлопьев. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 4 с.
- 39.ГОСТ 26312.3-84. Крупа. Метод определения зараженности вредителями хлебных запасов.– М.: Издательство стандартов, 1984. – 4 с.
- 40.ГОСТ 26312.4-84. Крупа. Методы определения крупности или номера, примесей и доброкачественного ядра. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 6 с.

- 41.ГОСТ 26312.5-84. Крупа. Методы определения зольности. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 4 с.
- 42.ГОСТ 26312.7-88. Крупа. Метод определения влажности. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 4 с.
- 43.ГОСТ 26669-85. Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 10 с.
- 44.ГОСТ 26670-91. Продукты пищевые. Методы культивирования микроорганизмов. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 8 с.
- 45.ГОСТ 26791-89. Продукты переработки зерна. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 10 с.
- 46.ГОСТ 26889-86. Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кьельдаля. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 8 с.
- 47.ГОСТ 26971-86. Зерно, крупа, мука, толокно для продуктов детского питания. Метод определения кислотности. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 5 с.
- 48.ГОСТ 29033-99. Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 6 с.
- 49.ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 10 с.
- 50.ГОСТ 4192-92. Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ.– М.: Издательство стандартов, 1992. – 7 с.
- 51.ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 6 с.
- 52.ГОСТ 4386-89. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фторидов. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 11 с.
- 53.ГОСТ 5672-68. Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли сахара. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
- 54.ГОСТ Р 51074-2003. Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 41 с.

55.ГОСТ Р 51309-99. Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектрометрии. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 23 с.

56.ГОСТ Р 52407-2005. Вода питьевая. Методы определения жесткости. – М.: Стандартинформ, 2007. – 18 с.

57.ГОСТ Р 52816-2007. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.

58.ГОСТ Р 52963-2008. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 30 с.

59.ГОСТ Р 52964-2008. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.

60.ГОСТ Р 54316-2011. Национальный стандарт Российской Федерации воды минеральные природные питьевые. – М.: Стандартинформ, 2011. – 48 с.

61.ГОСТ 2668-85. Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 6 с.

62.ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 12 с.

63.Грачев, Ю.П. Раскрыта тайна «Холодного кипятка» / Ю.П. Грачев // Сельская жизнь. – 2006. – № 47.

64.Григорян, Р.А. Участие некоторых метаболических сдвигов в желудочной ткани в механизме антильцерогенного действия минеральной воды "Карашамб" при экспериментальной язве желудка / Р.А. Григорян, Н.Г. Асатрян // Механизмы действия минеральных вод и грязей на функциональное состояние органов пищеварения: мат-лы Всесоюз. конф. – Железноводск-Ессентуки, 1991. – С. 14–15.

65.Давыдова, С.Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов. – М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2002. – 140 с.

66.Данильчук, Т.Н. Использование электроконтактной обработки в технологиях получения крупы и муки из пророщенного ячменя / Т.Н. Данильчук // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 2. – С. 12–16.

67. Данильчук, Т.Н. Стимуляция биохимических процессов в прорастающем зерне акустическими и электрофизическими методами воздействия / Т.Н. Данильчук, Д.Н. Юрьев, А.Ю. Ратников // Пиво и напитки. – 2008. – № 6. – С. 11–14.

68. Доценко, С.М. Белково-углеводный продукт для использования в пищевых концентратах и биотехнология его получения / С.М. Доценко, О.В. Скрипко, В.М. Грызлов // Вестн. КрасГАУ. – 2009. – №3. – С. 222–229.

69. Дубцова, Г.Н. Липид-белковые комплексы пшеницы, их формирование и роль в технологических процессах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01 / Г.Н. Дубцова. – М., 1999. – 57 с.

70. Елькин, Н.В. Инфракрасные технологии в переработке зернового сырья при производстве продуктов питания / Н.В. Елькин, К.В. Абабков, И.В. Мощарова // Агробизнес и пищевая промышленность. – 2001. – №8. – С. 26–27.

71. Зверев, С. Высокотемпературная микронизация в процессах зернопереработки / С. Зверев, Е. Тюрёв // Хлебопродукты. – 2002. – №2. – С. 28–29.

72. Зенкова, А. Новые виды экструдированных зернопродуктов / А. Зенкова, В. Гершзон, И. Панкратьева // Хлебопродукты. – 1999. – №9. – С. 24–25.

73. Ибрагимова, И.Ш. Минеральные воды Кельбаджарского синклиория Малого Кавказа: Закономерности распространения, условия формирования и перспективы использования: дис. ... канд. геолого-минералогических наук: 04.00.06 / И.Ш. Ибрагимова. – Баку, 1996. – 201 с.

74. Иванов, В.В. Классификация подземных минеральных вод / В.В. Иванов, Г.А. Невраев. – М.: Недра, 1964. – 166 с.

75. Иванов, Е.М. Общие закономерности влияния минеральных вод на организм / Е.М. Иванов, М.В. Антонюк // Минеральные воды Дальнего Востока. – Владивосток, 1999. – С. 122–131.

76. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 512 с.

77. Калетина, Н.И. Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ токсикантов: учеб. пособие для вузов / Н.И. Калетина. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 1008 с.

78. Кардашев, Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии / Г.А. Кардашев. – М.: Химия, 1990. – 208 с.

79. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – 9-е изд. – М.: Химия, 1973. – 750 с.

80. Кауц, Е.В. Ваше здоровье – в Ваших руках / Е.В. Кауц, О.Г. Сулимина // Пищевая пром-сть. – 2005. – №4. – С. 6–8.

81. Кислухина, О. Биотехнологические основы переработки растительного сырья / О. Кислухина, И. Кюдклас – Каунас: Технология, 1997. – 183 с.

82. Кнэпп, Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Д. Дейли, Ф. Хэммит. – М.: Мир, 1974. – 668 с.

83. Ковалева, Л.П. Эффективность лечения хронического холецистита комплексом природных факторов курорта «Аршан»: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.05 / Л.П. Ковалева. – Красноярск, 2004. – 20 с.

84. Комарова Г.Н. Технология возделывания овса на зерно в экстремальных условиях севера Томской области: метод. рекомендации / Г.Н. Комарова. – Томск: Изд-во Сибирского науч.-исслед. ин-та с.-х. и торфа, 2007. – 11 с.

85. Коровин, Ф.Н. Зерно хлебных, бобовых и масличных культур / Ф.Н. Коровин. – М.: Пищевая пром-сть, 1964. – 463 с.

86. Коровина, Н.А. Железодефицитные анемии у детей. Руководство для врачей / Н.А. Коровина, А.Л. Заплатников, И.Н. Захарова. – Владимир: Посад, 1998. – 63 с.

87. Королев, Ю.Н. Действие питьевых минеральных вод на процессы репаративной регенерации в желудке / Ю.Н. Королев // Вопросы курортологии. – 1998. – №6. – С. 21–24.

88. Корчин, В.И. Обеспеченность витаминами и микроэлементами организма детей ханты, проживающих в северном регионе / В.И. Корчин // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 1. – С. 88–89.

89. Коханенко, А.А. Геоэкологические вопросы эксплуатации месторождений лечебных минеральных вод курортных местностей Красноярского края / А.А. Коханенко // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2008. – №2. – С. 169–172.

90. Кохаченко, А.А. Проблемы использования лечебных минеральных вод Татарского месторождения Красноярского края / А.А. Кохаченко, Н.К. Джабарова, Т.М. Тронова // Подземные воды

Востока России: мат-лы XVIII Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 2006. – С. 93–95.

91. Краткая медицинская энциклопедия: в 3 т. / под общ. ред. Б.В. Петровского. – М.: Сов. энцикл., 1989. – 624 с.

92. Кузнецова, Е.Г. Биологическая роль эссенциальных макро и микроэлементов и нарушения их гомеостаза при пиелонефрите у детей / Е.Г. Кузнецова, Р.Р. Шиляев, О.Ю. Фадеева // Педиатрическая фармакология. – 2007. – № 2. – Т. 4. – С. 53–57.

93. Кукушкин, Ю.Н. Химические элементы в организме человека / Ю.Н. Кукушкин // Соросовский образовательный журн. – 1998. – №5. – С. 54–58.

94. Кустов, Ю.И. История становления и современное состояние гидроминеральных ресурсов курорта Аршан Тункинский / Ю.И. Кустов, В.И. Сонголов // Актуальные вопросы восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии – Иркутск: Аршан, 2005. – С. 19–23.

95. Кухаренко, А.А. Научные принципы обогащения пищевых продуктов микронутриентами / А.А. Кухаренко, А.Н. Богатырев, В.М. Короткий // Пищевая пром-сть. – 2008. – № 5. – С. 18–21.

96. Левковский, Ю.Л. Структура кавитационных течений / Ю.Л. Левковский. – Л.: Судостроение, 1977. – 248 с.

97. Леонова, С. Разработка технологии национального крупяного продукта из пророщенного зерна / С. Леонова // Хлебопродукты. – 2010. – №9. – С. 48–49.

98. Лим В.Е. Действие Шмаковской минеральной воды на желчевыводящую функцию печени и эффективность лечения данной водой больных хроническим холециститом на курорте Шмаковка: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.00 / В.Е. Лим. – Хабаровск, 1971. – 15 с.

99. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция / М.А. Маргулис. – М.: Химия, 1986. – 288 с.

100. Маргулис М.А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях): учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов / М.А. Маргулис. – М.: Высш. шк., 1984. – 272 с.

101. Маргулис, А.А. Кавитация / А.А. Маргулис. – М., 1986. – 323 с.

102. Мартынчик, А.Н. Физиология питания, санитария, гигиена / А.Н. Мартынчик, А.А. Корлев, Л.С. Трофименко. – М.: Мастерство, 2000. – 190 с.

103. Матюхина, З.П. Основы физиологии питания, гигиены и санитарии: учеб. / З.П. Матюхина. – М.: Академия, 1999. – 181 с.

104. Медведев, Г.М. Экструзионная технология производства зерновых полуфабрикатов быстрого приготовления / Г.М. Медведев, Н.С. Азашикова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – №5. – С. 44–46.

105. Мельников, М.Е. Технология крупяного производства / Е.М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1991. – 207 с.

106. Мельникова, Н.В. Влияние минеральных вод Анненского источника на функциональное состояние желудочных желез при гастродуоденальной патологии / Н.В. Мельникова, А.Д. Беляев // Минеральные воды Дальнего Востока и их лечебное применение: сб. науч. тр. ХГМИ. – Хабаровск, 1993. – С. 68–79.

107. Мицых, В.Е. Рациональное питание и пищевые продукты / В.Е. Мицых, А.Ф. Невольченко. – Киев: Урожай, 1994. – 334 с.

108. Мосолов, В.В. Протеолитические ферменты / В.В. Мослов. – М.: Наука, 1971. – 414 с.

109. МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. – URL: <http://75.rospotrebnadzor.ru/content/metodicheskie-rekomendatsii-mr-2312432-08-normy-fiziologicheskikh-potrebnostei-v-nergii-i-p>.

110. МУ 2142-80. Методические указания по определению хлорорганических пестицидов в воде, продуктах питания, кормах и табачных изделиях хроматографией в тонком слое.

111. МУ 5178-90. Методические указания по обнаружению и определению содержания общей ртути в пищевых продуктах методом беспламенной атомной абсорбции.

112. МУК 2.6.2.717-98. Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка: метод. указания. – М.: ИПК издательство стандартов, 1998. – 17 с.

113. МУК 4.1.1132-02. Определение остаточных количеств 2,4-Д в воде, зерне, соломе зерновых культур и зерне кукурузы методом газожидкостной хроматографии: метод. указания.

114. МУК 5-1-14/1001. Методические указания по использованию тест-системы AFLAPLATE®.

115. Назаренко, Л.И. Внутреннее применение минеральных вод: пособие для врачей / Л.И. Назаренко, А.Ю. Барановский. – СПб.: МАПО, 1998. – 43 с.

116. Непорожня, Е.Ю. Повышение сбалансированности рецептурных композиций сухих каш для детского питания / Е.Ю. Непорожня, С.В. Усатилов, Г.П. Овчарова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – № 5. – С. 63–65.

117. Нечаев, А.П. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.

118. Новгородцева, Т.П. Механизмы ремоделирования липидной компоненты клеточных мембран бальнеологическими факторами / Т.П. Новгородцева, Э.А. Эндакова // Минеральные воды Дальнего Востока. – 1999. – С. 182–213.

119. Новицкий, Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Б.Г. Новицкий. – М.: Химия, 1983. – 192 с.

120. Ногаллер, А.М. Лечение больных язвенной болезнью и первичным хроническим гастродуоденитом на курорте Железноводск / А.М. Ногаллер, Л.Ф. Рябинкина, М.П. Товбушенко // Вопросы курортологии. – 1996. – №2. – С. 18–22.

121. Оберлис, Д. Биологическая роль макро и микроэлементов у человека и животных / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.

122. Оттавей П.Б. Обогащение пищевых продуктов и биологически активные добавки / П.Б. Оттавей. – СПб.: Профессия, 2010. – 312 с.

123. Панфилова, И.А. Разработка технологии быстрораствориваемой крупы и хлопьев из целого зерна пшеницы профилактического назначения с использованием РЖ-обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.02 / И.А. Панфилова. – М. – 1998. – 26 с.

124. Перник, А.Д. Проблемы кавитации / А.Д. Перник. – Л.: Судостроение, 1966. – 439 с.

125. Петрянов-Соколов, И.В. Популярная библиотека химических элементов / И.В. Петрянов-Соколов. – М.: Наука, 1977. – 656 с.

126. Печенникова, Е.В. О биологическом значении микроэлементов / Е.В. Печенникова, В.В. Вашкова, Е.А. Можаяев // Гигиена и санитария. – 1997. – №4. – С. 41–43.

127. Пирсол, И. Кавитация / И. Пирсол. – М.: Мир, 1975. – 95 с.



128. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом.

129. ПНД Ф 14.1:2:4.154-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод.

130. ПНД Ф 14.1:2:4.3-95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой.

131. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой.

132. Позняковский, В.М. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В.М. Позняковский, Л.Н. Шатнюк, В.Б. Спиричев. – Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 2005. – 548 с.

133. Поландова, Р.Д. Пищевые добавки для повышения качества хлеба и улучшения сроков хранения / Р.Д. Поландова, Ф.Н. Кветный, А.Н. Стребыкина // Хлебопечение России. – 2002. – №1. – С. 20–21.

134. Попович, Ю.Г. Физиологическая роль цинка / Ю.Г. Попович // Педиатрия и детская хирургия. – 2011. – №1. – С. 37–40.

135. Природные ресурсы Красноярского края (аналитический обзор) / под общ. ред. А.М. Якимов. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. – 218 с.

136. Птичкина, Н.М. Изделия из каш с функциональными добавками / Н.М. Птичкина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 9. – С. 47–48.

137. Пхалагова, Д.М. Минеральные воды Северной Осетии и их химические особенности / Д.М. Пхалагова. – Владикавказ: Ир, 1992. – 207 с.

138. Решетник, Е.И. Исследование возможности обогащения кисломолочных продуктов пищевой добавкой «лавитол-аранибионгалактан» / Е.И. Решетник, Е.А. Уточкина, А.П. Пакусина // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – №2. – С. 3–7.

139. Рождественский, В.В. Кавитация / В.В. Рождественский. – Л.: Судостроение, 1977. – 248 с.

140. Сальникова, Е.В. Цинк – эссенциальный микроэлемент / Е.В. Сальникова // Вестн. ОГУ. – 2012. – №10. – С. 170–172.

141. СанПиН 2.3.2.1078-01. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М.: Рид Групп, 2011. – 448 с.
142. Симоненко, Е.А. Разработка технологии применения функциональных наполнителей в рецептуре продукта быстрого приготовления / Е.А.Симоненко, О.А. Шалимова, А.А. Емельянов // Вестн. ОГУ. – 2013. – №1. – С. 177–179.
143. Сиротюк, М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые поля / М.Г. Сиротюк; под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1968. – Ч. 5. – С. 168–220.
144. Сичкарь, Н.М. Биохимия ячменя / Н.М. Сичкарь, Н.Н. Иванов // Биохимия культурных растений. – 1958. – Т. 1. – С. 234–330.
145. Скальный, А.В. Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. – М.: Мир, 2004. – 272 с.
146. Скурихина, И.М. Химический состав российских пищевых продуктов: справ. / И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи, 2002. – 236 с.
147. Смирнова, И.В. Плодоовощное питание, обогащенное микронутриентами профилактического назначения для беременных и кормящих женщин / И.В. Смирнова // Охрана материнства и детства. – 2008. – № 2–12. – С. 16–20.
148. Сновицкая, Л.В. Совершенствование технологии переработки зерна ячменя: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Л.В. Сновицкая. – Кемерово, 2008. – 175 с.
149. Сорока Н.Ф. Питание и здоровье / Н.Ф. Сорока. – Минск: Беларусь, 1994. – 349 с.
150. Сохряков, С.О. Разработка технологии плавленого сырного продукта для питания детей школьного возраста, обогащенного кальцием / С.О. Сохряков, Н.Л. Чернопольская // Аграр. вестн. Урала. – 2011. – №10. – С. 13–15.
151. Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В.Б. Спиричев, Л.Н. Шатнюк, В.М. Позняковский; под общ. ред. В.Б. Спиричева. – Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 2005. – 548 с.
152. Спиричев, В.Б. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами – надежный путь оптимизации их потребления / В.Б. Спиричев, В.В. Трихина, В.М. Позняковский // Ползуновский вестн. – 2012. – №2/2. – С. 9–15.

153. Способ активации хлебопекарных дрожжей: Пат. 2184145 Россия, С12N1/16, С12N1/18, А21D8/02, С12N1/18, С12R1:865 / Р.Д. Поландова, С.Д. Шестаков, Т.П. Волохова. – Заяв. 01.03.00; Оpubл. 27.06.02.

154. Способ воздействия энергией кавитации на поток жидкости и кавитационный реактор для его осуществления: Пат. 2226428 Россия, В01J19/10, А23L1/025, В01F11/02 / С.Д. Шестаков. – Заяв. 17.04.03; Оpubл. 10.04.2004.

155. Способ и прибор для термической обработки крупяного сырья в производстве пищевых концентратов: А.с. 66477 СССР / Н.И. Здобнов, Н.С. Писарев, П.В. Серегин. – № 335503. – Заявл. 24.11.1944; Оpubл. 30.06.1946.

156. Способ кавитационной обработки жидких сред и реактор для его осуществления: Пат. 2228217 Россия, В01J19/10, В01F 11/02. / С.Д. Шестаков. – Заяв. 21.05.03; Оpubл. 10.05.04.

157. Способ обработки жидкости в кавитационном реакторе: Пат. 2254911 Россия, В01J19/10 / С.Д. Шестаков. – Заяв. 16.06.04; Оpubл. 27.06.2005.

158. Способ обработки зерна перед его закладкой на хранение либо при переработке зерна в муку: Пат. 2171568 Россия, А01F25/00, В02В1/08, В02В1/04, А23L3/30 / Т.П. Волохова, С.Д. Шестаков. – Заявл. 01.03.00; Оpubл. 10.08.01.

159. Способ получения быстрорастваривающихся крупяных продуктов: А.с. 102760 СССР / Д.И. Спиридонова, М.С. Клейнман, М.Е. Гинзбург. – №4992/451860. – Заявл. 16.07.1955; Оpubл. 16.07.1955.

160. Способ приготовления теста: Пат. 2171583 Россия, А21D8/02. / Т. П. Волохова, С.Д. Шестаков. – Заявл. 05.09.00; Оpubл. 10.08.01.

161. Способ производства хлеба: Пат. 2171582 Россия, А21D8/02 / С.Д. Шестаков, Т.П. Волохова. – Заявл. 01.03.00; опубл. 10.08.2001.

162. Сулин, В.А. Условия образования, основы классификации и состав природных вод / В.А. Сулин. – М.: АН СССР, 1948. – 106 с.

163. Суханова, Г.И. Эффективность применения минеральных вод источника «Горноводное» Приморского края при заболеваниях желудочно-кишечного тракта / Г.И. Суханова, Н.К. Орловская, И.Н. Григоренко // Вопросы клинической медицины: мат-лы конф. – Владивосток, 1993. – Ч. 1. – С. 117–121.

164. Терентьев, А.Г. Математические вопросы кавитации: учеб. пособие / А.Г. Терентьев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 1981. – 132 с.
165. Тимофеева, В.А. Товароведение продовольственных товаров: учеб. / В.А. Тимофеева. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 416 с.
166. ТУ 9294-005-54844059-02. Крупа перловая. Технические условия.
167. ТУ 9294-007-54844059-02. Крупа овсяная. Технические условия.
168. Удинцев, С.Н. Современные методы повышения пищевой ценности сельскохозяйственной продукции / С.Н. Удинцев, Т.П. Жилякова // Вестн. ТомГУ. Биология. – 2012. – №2. – С. 81–91.
169. Федоткин, И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин. – Киев: Вища шк., 1984. – 68 с.
170. Флинн, Г. Физика акустической кавитации в жидкостях / Г. Флинн; под ред. У. Мезона // Физическая акустика. – М.: Мир, 1967. – Т. 1, ч. Б. – С. 7–138.
171. Функциональные напитки на основе природных минеральных вод в профилактике витаминно-минеральной недостаточности / М.В. Палагина [и др.]. – Владивосток: Изд-во Тихоокеанского ГЭУ. – 2009. – № 4–5. – С. 141–144.
172. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В.Н. Хмелев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – 416 с.
173. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности // В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 203 с.
174. Хорбенко, И.Г. Звук, ультразвук, инфразвук / И.Г. Хорбенко. – М.: Знание, 1985. – 192 с.
175. Царахова, Э.Н. Требования к минеральным водам как основе напитка / Э.Н. Царахова, Г.И. Касьянов // Изв. высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – №1. – С. 15–17.
176. Циммерман, Я.С. Физиотерапия и курортные лечебные факторы в гастроэнтерологии / Я.С. Циммерман, Е.В. Владимирский, Е.В. Рыболовлев. – Пермь, 2006. – 251 с.
177. Чамокова, Е.Ф. Курорты и лечебные местности Северной Осетии / Е.Ф. Чамокова, А.С. Будун. – Владикавказ: Ир, 1992. – 345 с.

178. Чахова, Е.И. Обогащение продуктов питания пищевыми и биологически активными добавками / Е.И. Чахова, Т.В. Авдеева // Изв. высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – №3. – С. 121–122.

179. Черных, В. Изменение вязкости крахмального геля крупы и хлопьев из зерна пшеницы при ИК-обработке / В. Черных, В. Кирдяшкин, И. Панфилова // Хлебопродукты. – 2001. – №4. – С. 24.

180. Чугаев, Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1975. – 236 с.

181. Шейбак, М.П. Недостаточность цинка у детей. Российский / М.П. Шейбак, Л.Н. Шейбак // Вестн. перинатологии и педиатрии. – 2000. – №3. – С. 48–52.

182. Шестаков, С.Д. Новые технологии производства качественных продуктов питания / С.Д. Шестаков // Промышленные ведомости. – 2005. – № 6.

183. Шестаков, С.Д. Кавитационная дезинтеграция – новый вид передачи энергии при обработке зерна водой / С.Д. Шестаков // Качество зерна, муки и хлеба: мат-лы 2-й междунар. конф. – М., 2002. – С. 192–195.

184. Шестаков, С.Д. Новые технологии производства качественных продуктов питания / С.Д. Шестаков // Промышленные ведомости. – 2005. – №6.

185. Шестаков, С.Д. Энергетическое состояние воды и ее связываемость биополимерами пищевого сырья: новые возможности / С.Д. Шестаков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №4. – С. 35–37.

186. Шленская, Т.В. Использование методов и средств пищевой сонохимии в производстве продуктов здорового питания / Т.В. Шленская, О.Н. Красуля // Технологии и продукты здорового питания. Функциональные пищевые продукты: мат-лы VIII науч.-практ. конф. / под ред. Л.А. Каплина. – М.: ИК МГУПП, 2010. – 204 с.

187. Шутилов, В.А. Основы физики ультразвука: учеб. пособие / В.А. Шутилов. – Л.: Изд-во ЛУ, 1980. – 280 с.

188. Щеплягина, Л.А. Витамины и микронутриенты для детей: аргументы и факты / Л.А. Щеплягина // Консилиум медикум. – 2009. – №1. – URL: <http://new.consiliummedicum.com/magazines/cm/pediatrics/article/17909>.

189. Щеплягина, Л.А. Клиническое значение дефицита цинка для здоровья детей: новые возможности лечения и профилактики / Л.А. Щеплягина, Т.И. Легонькова, Т.Ю. Моисеева // Рос. медицинский журнал. – 2012. – № 3. – URL: [http://rmj.ru/articles\\_1061.htm](http://rmj.ru/articles_1061.htm).
190. Эльпинер, И.Е. Ультразвук. Физическо-химическое и биологическое действие / И.Е. Эльпинер. – М.: ИФ - МЛ, 1963. – 420 с.
191. Эльпинер, И.Е. Ультразвук. Физическо-химическое и биологическое действие / И.Е. Эльпинер. – М.: ИФ - МЛ, 1963. – 420 с.
192. Aisen, P. Chemistry and biology of eukaryotic iron metabolism / P. Aisen, C. Enns, M. Wessling-Resnik // Int. J. Biochem. Cell Biol. – 2001. – №10. – P. 940–959.
193. Beard, B.J. Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning / B.J. Beard // J. Nutr. – 2001. – № 2S-2. – P. 568–580.
194. Black, M.M. Zinc deficiency and child development / M.M. Black // Am. J. Clin. Nutr. – 1997. – №1. – P. 160–161.
195. Black, R.E. Zinc and childhood infectious disease morbidity and mortality / R.E. Black // Br. J. Nutr. – 2001. – №2. – p. 125–129.
196. Davidson, L. Approaches to improve iron bioavailability from complementary foods / L. Davidson // J. Nutr. – 2003. – № 5. – P. 1560–1562.
197. Epstein, E. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives / E. Epstein, A.J. Bloom. – 2nd edn. – Sunderland: MA, 2004. – 546 p.
198. Garby, L. Iron Supplementation in Thai fish sauce / L. Garby, S. Areekul // Ann. Trop. Med. Parasitol. – 1974. – № 68. – P. 177–186.
199. Gibson, R.S. Zinc: The missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries/ R.S. Gibson // Proc. Nutr. Soc. – 2006. – №1. – P. 51–60.
200. Hambidge, M. Human zinc deficiency / M. Hambidge // J. Nutr. – 2000. – №5. – P. 1344–1349.
201. Hunt, J. Position of the American Dietetic Association: food fortification and dietary supplements / J. Hunt, J. Dwyer // Journal of American Dietetic Association. – 2001. – № 1. – P. 115–125.
202. Kim, S.J. Effect of natural light periods on rutin, free amino acid and vitamin C contents in the sprouts of common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*F. tataricum* Gaertn.) buckwheats / S.J. Kim, C. Kawaharada, T. Suzuki // Food Science and Technology Research. – 2006. – № 12. – P. 199–205.

203. Kim, S.J. Comparison of phenolic compositions between common and tartary buckwheat (*Fagopyrum*) sprouts / S.J. Kim, I.S.M. Zaidul, T. Suzuki // *Food Chem.* – 2008. – №110. – P. 814–820.
204. Kim, S.J. Identification of anthocyanins in the sprouts of buckwheat / S.J. Kim, T. Maeda, M.Z.I. Sarker // *J. Agric. Food Chem.* – 2007. – №55. – P. 6314–6318.
205. Layrisse, M. Impact of fortification of flours with iron to reduce the prevalence of anemia and iron deficiency among schoolchildren in Caracas, Venezuela: A follow-up / M. Layrisse, M.N. Garcia-Casal, H. Mendez-Castellano // *Food Nutr. Bull.* – 2002. – №23(4). – P. 384–389.
206. Lin, L.Y. Optimization of bioactive compounds in buckwheat sprouts and their effect on blood cholesterol in hamsters / L.Y. Lin, C.C. Peng, Y.L. Yang // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* – 2008. – №4. – P. 1216–1223.
207. Muller, O. Effect of zinc supplementation on malaria and other causes of morbidity in West African children: Randomized double blind placebo controlled trial / O. Muller, H. Becher, A.B. van Zweeden // *BMJ.* – 2001. – №322(7302). – P. 1567.
208. Neppiras, E.A. Acoustic cavitation / E.A. Neppiras // *Phys. Repts.* – 1980. – №3. – P. 159–251.
209. Rayleigh On the pressure developed in liquid during the collapse of a spherical cavity / Rayleigh // *Philos. Mag.* – 1917. – №34. – P. 94–96.
210. Reynolds, O. The causes of the racing of the engines of screw steamers, Investigated theoretically and by experiment / O. Reynolds // *Naval Arch. V14 sc. Papers.* – 1873. – P. 56–57.
211. Wangl, L.C. Soybean protean agglomeration: promotion by ultrasonic treatment // L.C. Wangl // *J. of Agricultural and Food Chemistry.* – 1981. – №1. – P. 117–129.
212. WHO, Guidelines on Food Fortification with Micronutrients. – Geneva: WHO, 2006.
213. Wood, R.J. Assessment of marginal zinc status in humans / R.J. Wood // *J. Nutr.* – 2000. – №5 – P. 1350–1354.
214. Zimmermann, M.B. Triple fortification of salt with microcapsules of iodine, iron, and vitamin A / M.B. Zimmermann, R. Wegmueller, C. Zeder // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2004. – № 5. – P. 1283–1290.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А

Таблица А.1 – Содержание железа в обогащенной перловой крупе

		Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин					
			0	10	15	20	25	30
Начальная температура, °С	25	35	18,62 ± 0,52	35,73 ± 0,99	36,97 ± 1,03	41,04 ± 1,14	42,17 ± 1,17	43,07 ± 1,20
		42		46,94 ± 1,31	49,65 ± 1,38	54,69 ± 1,52	54,73 ± 1,52	55,60 ± 1,55
	30	35		40,59 ± 1,13	41,93 ± 1,17	46,22 ± 1,29	47,33 ± 1,32	48,29 ± 1,34
		42		51,30 ± 1,43	54,17 ± 1,51	59,69 ± 1,66	62,71 ± 1,74	63,50 ± 1,77
	35	35		45,39 ± 1,26	46,87 ± 1,30	51,46 ± 1,43	52,64 ± 1,46	53,64 ± 1,49
		42		55,52 ± 1,54	58,59 ± 1,63	64,04 ± 1,78	67,15 ± 1,87	67,21 ± 1,87
	40	35		50,17 ± 1,40	51,70 ± 1,44	55,66 ± 1,55	57,08 ± 1,59	58,10 ± 1,62
		42		59,60 ± 1,66	62,35 ± 1,73	68,09 ± 1,89	71,42 ± 1,99	72,36 ± 2,01
	45	35		54,76 ± 1,52	57,21 ± 1,59	59,77 ± 1,66	62,36 ± 1,73	64,27 ± 1,79
		42		63,44 ± 1,76	66,25 ± 1,84	69,94 ± 1,94	72,68 ± 2,02	77,20 ± 2,15
	50	35		56,60 ± 1,57	60,41 ± 1,68	64,19 ± 1,79	67,21 ± 1,87	70,26 ± 1,95
		42		65,53 ± 1,82	68,33 ± 1,90	72,07 ± 2,00	75,18 ± 2,09	78,21 ± 2,17
	55	35		62,79 ± 1,75	66,68 ± 1,85	69,99 ± 1,95	72,94 ± 2,03	78,02 ± 2,17
		42		72,36 ± 2,01	75,16 ± 2,09	78,91 ± 2,19	82,01 ± 2,28	89,06 ± 2,48
	60	35		67,75 ± 1,88	69,22 ± 1,92	74,00 ± 2,06	79,50 ± 2,21	83,33 ± 2,32
		42		77,72 ± 2,16	79,03 ± 2,20	81,54 ± 2,27	87,36 ± 2,43	94,00 ± 2,61



Таблица А.2 – Содержание железа в обогащенной овсяной крупе

		Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин					
			0	10	15	20	25	30
Начальная температура, °С	25	35	25,19 ± 0,70	36,63 ± 1,02	38,52 ± 1,07	40,68 ± 1,13	42,86 ± 1,19	45,42 ± 1,26
		42		56,39 ± 1,57	58,65 ± 1,63	62,95 ± 1,75	66,35 ± 1,85	69,21 ± 1,92
	30	35		44,97 ± 1,25	46,93 ± 1,31	49,26 ± 1,37	51,62 ± 1,44	54,37 ± 1,51
		42		61,76 ± 1,72	64,08 ± 1,78	68,33 ± 1,90	71,84 ± 2,00	74,81 ± 2,08
	35	35		53,36 ± 1,48	53,38 ± 1,48	55,68 ± 1,55	68,11 ± 1,89	70,85 ± 1,97
		42		67,11 ± 1,87	69,51 ± 1,93	74,01 ± 2,06	77,62 ± 2,16	80,71 ± 2,24
	40	35		61,78 ± 1,72	63,97 ± 1,78	66,36 ± 1,85	68,80 ± 1,91	71,79 ± 2,00
		42		72,54 ± 2,02	75,02 ± 2,09	79,65 ± 2,21	83,33 ± 2,32	86,52 ± 2,41
	45	35		72,96 ± 2,03	75,08 ± 2,09	77,22 ± 2,15	78,29 ± 2,18	80,44 ± 2,24
		42		77,83 ± 2,16	81,10 ± 2,26	85,77 ± 2,38	88,40 ± 2,46	92,52 ± 2,57
	50	35		77,81 ± 2,16	79,81 ± 2,22	81,73 ± 2,72	84,16 ± 2,34	86,70 ± 2,41
		42		82,51 ± 2,29	86,30 ± 2,40	89,65 ± 2,49	93,76 ± 2,61	96,00 ± 2,67
	55	35		80,91 ± 2,25	83,68 ± 2,33	85,23 ± 2,37	88,51 ± 2,46	91,14 ± 2,53
		42		89,71 ± 2,49	92,11 ± 2,56	97,82 ± 2,72	101,00 ± 2,81	107,93 ± 3,00
	60	35		85,17 ± 2,37	88,42 ± 2,46	91,69 ± 2,55	94,64 ± 2,63	97,53 ± 2,71
		42		93,86 ± 2,61	96,31 ± 2,68	100,79 ± 2,80	105,78 ± 2,94	111,32 ± 3,10

Таблица А.3 – Содержание цинка в обогащенной перловой крупе

		Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин					
			0	10	15	20	25	30
Начальная температура, °С	25	35	24,45 ± 0,87	39,72± 1,41	41,00± 1,45	44,49± 1,58	45,65± 1,62	46,30± 1,64
		42		48,68± 1,72	49,99± 1,77	55,09± 1,95	62,03±2,20	65,40±2,32
	30	35		46,29± 1,64	47,67± 1,69	51,54± 1,82	52,80± 1,87	53,54± 1,90
		42		55,72± 1,94	57,19±2,03	62,24±2,20	64,31±2,28	65,71±2,33
	35	35		51,12± 1,81	52,59± 1,86	56,47±2,00	57,80±2,05	58,61±2,08
		42		60,99±2,16	62,54±2,21	67,87±2,40	70,05±2,48	71,55±2,53
	40	35		56,15± 1,99	57,63±2,04	61,77±2,19	63,17±2,24	64,03±2,27
		42		65,59±2,32	67,35±2,38	73,14±2,59	76,49±2,71	78,12±2,77
	45	35		60,55±2,14	63,08±2,23	65,75±2,33	68,15±2,41	70,08±2,48
		42		69,40±2,46	72,14±2,55	76,38±2,70	78,99±2,80	83,53±2,96
	50	35		62,41±2,21	66,27±2,35	70,05 ±2,48	73,24±2,59	76,18±2,70
		42		71,49±2,53	75,99±2,69	80,95±2,87	84,33±2,99	88,15±3,12
	55	35		68,61±2,43	70,57±2,50	75,84±2,69	78,76±2,79	83,79 ±2,97
		42		78,329±2,7 73	81,083±2,8 70	85,847±3,0 39	88,879±3,1 46	95,80±3,39
	60	35		73,46±2,60	75,04±2,66	79,87±2,83	84,26±2,98	88,17±3,12
		42		83,64±2,96	84,84±3,00	87,23±3,09	93,14±3,30	99,64±3,53

Таблица А.4 – Содержание цинка в обогащенной овсяной крупе

		Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин					
			0	10	15	20	25	30
Начальная температура, °С	25	35	20,83 ± 0,74	33,27 ± 1,18	35,08 ± 1,24	37,43 ± 1,33	39,38 ± 1,39	42,14 ± 1,49
		42		52,25 ± 1,85	55,43 ± 1,96	59,71 ± 2,11	63,33 ± 2,24	66,41 ± 2,35
	30	35		41,21 ± 1,46	43,13 ± 1,53	45,58 ± 1,61	47,66 ± 1,69	50,63 ± 1,79
		42		57,65 ± 2,04	60,01 ± 2,12	64,60 ± 2,29	68,21 ± 2,42	71,32 ± 2,53
	35	35		49,33 ± 1,75	51,28 ± 1,82	53,73 ± 1,90	55,86 ± 1,98	59,09 ± 2,09
		42		62,96 ± 2,23	65,38 ± 2,31	70,00 ± 2,48	73,65 ± 2,61	76,77 ± 2,72
	40	35		57,94 ± 2,05	59,98 ± 2,12	62,45 ± 2,21	64,72 ± 2,29	67,94 ± 2,41
		42		68,20 ± 2,41	70,65 ± 2,50	75,30 ± 2,67	79,00 ± 2,80	82,10 ± 2,91
	45	35		67,61 ± 2,39	70,64 ± 2,50	72,93 ± 2,58	73,86 ± 2,62	76,13 ± 2,70
		42		73,35 ± 2,60	76,60 ± 2,71	81,23 ± 2,88	83,87 ± 2,97	87,90 ± 3,11
	50	35		73,52 ± 2,60	75,38 ± 2,67	77,41 ± 2,74	79,84 ± 2,83	82,34 ± 2,92
		42		77,94 ± 2,76	83,62 ± 2,96	87,00 ± 3,08	90,81 ± 3,22	94,12 ± 3,33
	55	35		76,53 ± 2,71	79,03 ± 2,80	81,94 ± 2,90	84,23 ± 2,98	86,84 ± 3,07
		42		85,20 ± 3,02	87,59 ± 3,10	93,12 ± 3,30	96,33 ± 3,41	103,33 ± 3,66
	60	35		80,82 ± 2,86	84,16 ± 2,98	87,41 ± 3,09	90,22 ± 3,19	93,15 ± 3,30
		42		89,25 ± 3,16	91,61 ± 3,24	95,18 ± 3,37	101,06 ± 3,58	107,27 ± 3,80

## Приложение Б

Вначале был посчитан «индекс обогащения»  $I$  для обогащения круп цинком.

Далее проведен регрессионный анализ и получены следующие уравнения (Б.1) – (Б.4):

Для перловой крупы:

- Для частоты 35 кГц уравнение имеет вид  
$$I(t, T) = (0,129 - 0,0243 * t) * (-0,467 - 0,0091 * T). \quad (Б.1)$$

- Для частоты 42 кГц, уравнение имеет вид  
$$I(t, T) = (7,398 + 0,8281 * t) * (0,0126 + 0,000257 * T). \quad (Б.2)$$

Для овсяной крупы:

- Для частоты 35 кГц, уравнение имеет вид  
$$I(t, T) = (3140,563 - 198,751 * t + 1,143 * t^2) * (-0,000176 - 0,000002 * T) \dots (Б.3)$$

- Для частоты 42 кГц, уравнение имеет вид:  
$$I(t, T) = (0,00139 + 0,00014 * t) * (88,4878 + 1,5767 * T). \quad (Б.4)$$

По полученным уравнениям найдены расчетные значения индексов обогащения и остатки разниц данного коэффициента.

На следующем этапе рассчитана сумма квадратов остатков для каждой отдельной частоты, а также  $R^2$  – часть суммарной дисперсии. Для перловой крупы при частоте 35 кГц сумма квадратов составила 0,009 и  $R^2 = 0,994$ , для частоты 42 кГц – 0,026 и  $R^2 = 0,982$ . Для овсяной крупы при частоте 35 кГц сумма квадратов составила 0,021, и  $R^2 = 0,993$ , для частоты 42 кГц – 0,013 и  $R^2 = 0,993$ . Полученные данные указывают на хорошую степень приближения и достаточную точность построенных моделей.

В соответствии с приведенными выше данными конечный вид уравнений для обогащения перловой крупы цинком примет вид (Б.5) – (Б.8):

Для перловой крупы:

- При частоте ультразвука 35 кГц  
$$C_{\text{обог}} = C_{\text{раствора}} * (24,742 - 6,808 * t) * (-0,0016 - 0,000032 * T) + C_{\text{крупы}}. \quad (Б.5)$$

- При частоте ультразвука 42 кГц:  
$$C_{\text{обог}} = C_{\text{раствора}} * (0,0808 + 0,00516 * t) * (1,8555 + 0,034 * T) + C_{\text{крупы}}. \quad (Б.6)$$

Для овсяной крупы:

- При частоте ультразвука 35 кГц  
$$C_{\text{обог}} = C_{\text{раствора}} * (3140,563 - 198,751 * t + 1,143 * t^2) * (-0,000176 - 0,000002 * T) + C_{\text{крупы}}. \quad (Б.7)$$

- При частоте ультразвука 42 кГц

$$C_{\text{обога}} = C_{\text{раствора}} * (0,00139 + 0,00014 * t) * (88,4878 + 1,5767 * T) + C_{\text{крупы}}, \quad (\text{Б.8})$$

где  $C_{\text{обога}}$  – полученная концентрация элемента после обогащения;

$t$  – начальная температура;

$T$  – продолжительность воздействия ультразвука;

$C_{\text{раствора}}$  – концентрация элемента в растворе;

$C_{\text{крупы}}$  – содержания элемента в крупе.

Так как анализ строился на основе данных, полученных в ходе эксперимента обогащения перловой крупы микроэлементами в искусственно приготовленном растворе с концентрацией 65 мг/л под действием ультразвука с частотой 35 кГц и 42 кГц, то уравнение для данного эксперимента примет вид (Б.9) – (Б.12):

Для перловой крупы:

- Для ультразвука с частотой 35 кГц

$$C_{\text{обога}} = 65 * (0,129 - 0,0243 * t) * (-0,467 - 0,0091 * T) + 24,45. \quad (\text{Б.9})$$

- Для ультразвука с частотой 42 кГц:

$$C_{\text{обога}} = 65 * (7,398 + 0,8281 * t) * (0,0126 + 0,000257 * T) + 24,45. \quad (\text{Б.10})$$

Для овсяной крупы:

- Для ультразвука с частотой 35 кГц

$$C_{\text{обога}} = 65 * (3140,563 - 198,751 * t + 1,143 * t^2) * (-0,000176 - 0,000002 * T) + 20,83. \quad (\text{Б.11})$$

- Для ультразвука с частотой 42 кГц

$$C_{\text{обога}} = 65 * (0,00139 + 0,00014 * t) * (88,4878 + 1,5767 * T) + 20,83, \quad (\text{Б.12})$$

где  $C_{\text{обога}}$  – концентрация микроэлемента в крупе после обогащения.

По полученным уравнениям был произведен расчет значения содержания микроэлементов для различных вариантов характеристик режимов обогащения (табл. В.15 и В.16), а также рассчитаны погрешности полученных экспериментально значений в сравнении с расчетными (табл. В.19 и В.20). Полученные погрешности не превышают доверительный интервал в 5% и подтверждают правильность расчетов.

## Приложение В

Таблица В.1 – Индексы обогащения перловой крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,26317	0,28234	0,34491	0,36229	0,37617
	42	0,43568	0,47745	0,55557	0,55497	0,56888
30	35	0,33808	0,35869	0,42465	0,44177	0,45642
	42	0,50272	0,54697	0,63189	0,67828	0,69045
35	35	0,41180	0,43460	0,50529	0,52343	0,53874
	42	0,56775	0,61488	0,69872	0,74748	0,74669
40	35	0,48543	0,50895	0,56992	0,59171	0,60745
	42	0,63045	0,67272	0,76102	0,81238	0,82672
45	35	0,55600	0,59372	0,63308	0,67286	0,70237
	42	0,68951	0,73272	0,78951	0,83166	0,90128
50	35	0,58437	0,64286	0,70114	0,74757	0,79454
	42	0,72165	0,76485	0,82228	0,87023	0,91671
55	35	0,67948	0,73943	0,79038	0,83577	0,91388
	42	0,82677	0,86985	0,92752	0,97518	1,08365
60	35	0,75586	0,77843	0,85205	0,93663	0,99552
	42	0,90931	0,92945	0,96800	1,05757	1,15963

Таблица В.2 – Индексы обогащения овсяной крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,17597	0,20502	0,23832	0,27189	0,31122
	42	0,47994	0,51482	0,58095	0,63331	0,67726
30	35	0,30426	0,33451	0,37026	0,40665	0,44888
	42	0,56266	0,59828	0,66363	0,71763	0,76335
35	35	0,43374	0,43331	0,46909	0,66022	0,70248
	42	0,64488	0,68178	0,75103	0,80665	0,85406
40	35	0,56297	0,59663	0,63343	0,67095	0,71691
	42	0,72838	0,76655	0,83786	0,89449	0,94358
45	35	0,73488	0,76752	0,80042	0,81685	0,84991
	42	0,80989	0,86011	0,93191	0,97246	1,03586
50	35	0,80951	0,84026	0,86985	0,90723	0,94628
	42	0,88183	0,94017	0,99174	1,05492	1,08932
55	35	0,85723	0,89986	0,92363	0,97415	1,01463
	42	0,99265	1,02945	1,11740	1,16631	1,27285
60	35	0,92277	0,97277	1,02309	1,06842	1,11294
	42	1,05651	1,09409	1,16305	1,23983	1,32503

Таблица В.3 – Индексы обогащения перловой крупы цинком

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,23495	0,25463	0,30823	0,32615	0,33611
	42	0,37275	0,39295	0,47131	0,57814	0,62995
30	35	0,33600	0,35714	0,41672	0,43617	0,44748
	42	0,48109	0,50372	0,58134	0,61318	0,63474
35	35	0,41034	0,43292	0,49263	0,51311	0,52545
	42	0,56209	0,58594	0,66805	0,70158	0,72462
40	35	0,48768	0,51037	0,57418	0,59566	0,60892
	42	0,63289	0,66005	0,74911	0,80057	0,82572
45	35	0,55532	0,59434	0,63534	0,67235	0,70200
	42	0,69146	0,73368	0,79892	0,83911	0,90883
50	35	0,58392	0,64331	0,70146	0,75060	0,79578
	42	0,72360	0,79297	0,86923	0,92117	0,98000
55	35	0,67940	0,70945	0,79063	0,83554	0,91297
	42	0,82889	0,87126	0,94455	0,99120	1,09772
60	35	0,75400	0,77834	0,85252	0,92006	0,98025
	42	0,91052	0,92900	0,96589	1,05682	1,15668

Таблица В.4 – Индексы обогащения овсяной крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,19134	0,21922	0,25537	0,28540	0,32782
	42	0,48332	0,53226	0,59811	0,65380	0,70120
30	35	0,31355	0,34311	0,38080	0,41274	0,45842
	42	0,56652	0,60277	0,67335	0,72894	0,77683
35	35	0,43840	0,46840	0,50611	0,53886	0,58862
	42	0,64809	0,68531	0,75642	0,81265	0,86054
40	35	0,57091	0,60229	0,64032	0,67528	0,72475
	42	0,72871	0,76643	0,83806	0,89498	0,94265
45	35	0,71972	0,76631	0,80149	0,81586	0,85072
	42	0,80803	0,85798	0,92925	0,96989	1,03186
50	35	0,81068	0,83925	0,87042	0,90777	0,94635
	42	0,87863	0,96598	1,01792	1,07668	1,12754
55	35	0,85694	0,89538	0,94020	0,97543	1,01552
	42	0,99029	1,02702	1,11208	1,16154	1,26929
60	35	0,92297	0,97434	1,02429	1,06755	1,11268
	42	1,05268	1,08889	1,14378	1,23429	1,32978

Таблица В.5 – Расчетные значения индексов обогащения перловой крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,279	0,303	0,326	0,349	0,372
	42	0,461	0,496	0,532	0,568	0,603
30	35	0,345	0,373	0,402	0,431	0,460
	42	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677
35	35	0,410	0,444	0,478	0,512	0,547
	42	0,574	0,618	0,663	0,707	0,752
40	35	0,475	0,515	0,555	0,594	0,634
	42	0,631	0,679	0,728	0,777	0,826
45	35	0,541	0,586	0,631	0,676	0,721
	42	0,687	0,740	0,794	0,847	0,900
50	35	0,606	0,657	0,707	0,758	0,808
	42	0,744	0,801	0,859	0,917	0,974
55	35	0,671	0,727	0,783	0,839	0,895
	42	0,800	0,862	0,924	0,986	1,048
60	35	0,737	0,798	0,860	0,921	0,982
	42	0,857	0,923	0,990	1,056	1,123

Таблица В.6 – Расчетные значения индексов обогащения овсяной крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	38,627	39,430	40,233	41,036	41,839
	42	57,611	59,981	62,351	64,721	67,091
30	35	47,639	48,980	50,321	51,663	53,004
	42	62,450	65,174	67,898	70,622	73,345
35	35	55,768	57,595	59,422	61,249	63,077
	42	67,289	70,367	73,444	76,522	79,599
40	35	63,015	65,275	67,535	69,795	72,055
	42	72,128	75,559	78,990	82,422	85,853
45	35	69,379	72,020	74,660	77,300	79,941
	42	76,967	80,752	84,537	88,322	92,107
50	35	74,861	77,829	80,797	83,765	86,733
	42	81,806	85,945	90,083	94,222	98,360
55	35	79,460	82,703	85,946	89,189	92,432
	42	86,645	91,137	95,629	100,122	104,614
60	35	83,177	86,642	90,107	93,572	97,037
	42	91,484	96,330	101,176	106,022	110,868



Таблица В.7 – Расчетные значения индексов обогащения перловой крупы цинком

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,267	0,289	0,311	0,332	0,354
	42	0,426	0,462	0,499	0,535	0,571
30	35	0,335	0,362	0,389	0,417	0,444
	42	0,489	0,531	0,572	0,613	0,655
35	35	0,403	0,435	0,468	0,501	0,534
	42	0,552	0,599	0,645	0,692	0,739
40	35	0,470	0,509	0,547	0,585	0,624
	42	0,615	0,667	0,719	0,771	0,823
45	35	0,538	0,582	0,626	0,670	0,714
	42	0,678	0,735	0,792	0,850	0,907
50	35	0,606	0,655	0,705	0,754	0,804
	42	0,740	0,803	0,866	0,928	0,991
55	35	0,674	0,729	0,784	0,839	0,894
	42	0,803	0,871	0,939	1,007	1,075
60	35	0,742	0,802	0,863	0,923	0,983
	42	0,866	0,939	1,013	1,086	1,159

Таблица В.8 – Расчетные значения индексов обогащения овсяной крупы цинком

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,218	0,229	0,241	0,252	0,263
	42	0,510	0,548	0,587	0,625	0,664
30	35	0,351	0,369	0,387	0,405	0,423
	42	0,583	0,627	0,671	0,715	0,759
35	35	0,473	0,498	0,522	0,546	0,570
	42	0,656	0,705	0,755	0,805	0,854
40	35	0,584	0,614	0,644	0,674	0,703
	42	0,729	0,784	0,839	0,894	0,949
45	35	0,684	0,719	0,754	0,788	0,823
	42	0,802	0,862	0,923	0,984	1,044
50	35	0,772	0,812	0,851	0,890	0,930
	42	0,875	0,941	1,007	1,073	1,139
55	35	0,849	0,893	0,936	0,979	1,023
	42	0,948	1,019	1,091	1,163	1,234
60	35	0,915	0,962	1,009	1,055	1,102
	42	1,021	1,098	1,175	1,252	1,329

Таблица В.9 – Остатки разницы расчетных и полученных коэффициентов обогащения перловой крупы железом ( $I - I_{пр}$ )

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,016	0,020	0,019	0,013	0,004
	42	0,025	0,019	0,024	0,013	0,034
30	35	0,007	0,015	0,023	0,011	0,003
	42	0,015	0,010	0,035	0,041	0,013
35	35	0,002	0,010	0,027	0,011	0,008
	42	0,006	0,003	0,036	0,040	0,005
40	35	0,010	0,006	0,015	0,002	0,026
	42	0,000	0,007	0,033	0,035	0,001
45	35	0,015	0,008	0,002	0,003	0,019
	42	0,002	0,008	0,004	0,015	0,001
50	35	0,022	0,014	0,006	0,010	0,014
	42	0,022	0,037	0,037	0,046	0,058
55	35	0,008	0,012	0,007	0,004	0,019
	42	0,026	0,007	0,003	0,011	0,035
60	35	0,019	0,020	0,008	0,016	0,013
	42	0,052	0,006	0,022	0,001	0,037

Таблица В.10 – Остатки разницы расчетных и полученных коэффициентов обогащения овсяной крупы железом ( $I - I_{пр}$ )

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	2,00	0,91	0,45	1,83	3,58
	42	1,22	1,33	0,60	1,63	2,12
30	35	2,67	2,05	1,06	0,04	1,36
	42	0,69	1,10	0,43	1,22	1,46
35	35	2,38	4,24	3,74	6,86	7,78
	42	0,18	0,86	0,56	1,10	1,11
40	35	1,23	1,30	1,17	0,99	0,27
	42	0,41	0,54	0,66	0,91	0,67
45	35	3,58	3,06	2,56	0,99	0,49
	42	0,87	0,35	1,23	0,08	0,42
50	35	2,95	1,98	0,93	0,40	0,03
	42	0,70	0,36	0,43	0,46	2,36
55	35	1,45	0,98	0,72	0,68	1,29
	42	3,07	0,97	2,19	0,88	3,31
60	35	1,99	1,78	1,58	1,07	0,49
	42	2,38	0,02	0,39	0,24	0,45

Таблица В.11 – Остатки разницы расчетных и полученных коэффициентов обогащения перловой крупы цинком ( $I - I_{пр}$ )

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,032	0,034	0,002	0,006	0,018
	42	0,054	0,069	0,027	0,044	0,059
30	35	0,001	0,005	0,027	0,019	0,003
	42	0,008	0,027	0,009	0,000	0,020
35	35	0,008	0,003	0,024	0,012	0,008
	42	0,010	0,013	0,023	0,009	0,014
40	35	0,017	0,002	0,027	0,010	0,015
	42	0,018	0,007	0,030	0,030	0,003
45	35	0,017	0,012	0,009	0,003	0,012
	42	0,014	0,001	0,007	0,011	0,002
50	35	0,022	0,012	0,003	0,004	0,008
	42	0,017	0,010	0,003	0,007	0,011
55	35	0,006	0,019	0,007	0,003	0,019
	42	0,026	0,000	0,005	0,016	0,022
60	35	0,012	0,024	0,010	0,003	0,003
	42	0,045	0,010	0,047	0,029	0,003

Таблица В.12 – Остатки разницы расчетных и полученных коэффициентов обогащения овсяной крупы цинком ( $I - I_{пр}$ )

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	0,027	0,010	0,015	0,034	0,065
	42	0,026	0,016	0,011	0,028	0,037
30	35	0,038	0,026	0,007	0,007	0,035
	42	0,016	0,024	0,002	0,014	0,018
35	35	0,035	0,029	0,016	0,007	0,019
	42	0,008	0,020	0,001	0,008	0,006
40	35	0,013	0,012	0,004	0,002	0,021
	42	0,000	0,017	0,001	0,001	0,007
45	35	0,036	0,048	0,048	0,027	0,027
	42	0,006	0,004	0,006	0,014	0,012
50	35	0,039	0,028	0,019	0,017	0,017
	42	0,004	0,025	0,011	0,004	0,012
55	35	0,008	0,003	0,004	0,004	0,007
	42	0,043	0,008	0,021	0,001	0,035
60	35	0,008	0,012	0,016	0,012	0,011
	42	0,032	0,009	0,031	0,018	0,000

Таблица В.13 – Предсказываемые результаты обогащения перловой крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	36,772	38,285	39,798	41,310	42,823
	42	48,559	50,877	53,196	55,514	57,832
30	35	41,020	42,887	44,754	46,621	48,487
	42	52,241	54,844	57,448	60,051	62,654
35	35	45,269	47,489	49,710	51,931	54,152
	42	55,923	58,811	61,700	64,588	67,477
40	35	49,517	52,092	54,666	57,241	59,816
	42	59,605	62,778	65,952	69,125	72,299
45	35	53,765	56,694	59,623	62,551	65,480
	42	63,286	66,745	70,204	73,662	77,121
50	35	58,013	61,296	64,579	67,862	71,144
	42	66,968	70,712	74,456	78,200	81,943
55	35	62,261	65,898	69,535	73,172	76,809
	42	70,650	74,679	78,708	82,737	86,765
60	35	66,510	70,500	74,491	78,482	82,473
	42	74,332	78,646	82,960	87,274	91,588

Таблица В.14 – Предсказываемые результаты обогащения овсяной крупы железом

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	38,627	39,430	40,233	41,036	41,839
	42	57,611	59,981	62,351	64,721	67,091
30	35	47,639	48,980	50,321	51,663	53,004
	42	62,450	65,174	67,898	70,622	73,345
35	35	55,768	57,595	59,422	61,249	63,077
	42	67,289	70,367	73,444	76,522	79,599
40	35	63,015	65,275	67,535	69,795	72,055
	42	72,128	75,559	78,990	82,422	85,853
45	35	69,379	72,020	74,660	77,300	79,941
	42	76,967	80,752	84,537	88,322	92,107
50	35	74,861	77,829	80,797	83,765	86,733
	42	81,806	85,945	90,083	94,222	98,360
55	35	79,460	82,703	85,946	89,189	92,432
	42	86,645	91,137	95,629	100,122	104,614
60	35	83,177	86,642	90,107	93,572	97,037
	42	91,484	96,330	101,176	106,022	110,868

Таблица В.15 – Предсказываемые результаты обогащения перловой крупы цинком

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	41,806	43,221	44,637	46,052	47,467
	42	52,159	54,507	56,854	59,201	61,548
30	35	46,213	47,988	49,762	51,537	53,311
	42	56,242	58,935	61,628	64,321	67,014
35	35	50,620	52,754	54,887	57,021	59,155
	42	60,325	63,364	66,403	69,441	72,480
40	35	55,027	57,520	60,013	62,506	64,999
	42	64,408	67,792	71,177	74,562	77,946
45	35	59,433	62,286	65,138	67,991	70,843
	42	68,490	72,221	75,951	79,682	83,412
50	35	63,840	67,052	70,264	73,476	76,688
	42	72,573	76,649	80,726	84,802	88,878
55	35	68,247	71,818	75,389	78,961	82,532
	42	76,656	81,078	85,500	89,922	94,344
60	35	72,654	76,584	80,515	84,445	88,376
	42	80,739	85,507	90,275	95,043	99,810

Таблица В.16 – Предсказываемые результаты обогащения овсяной крупы цинком

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	35,020	35,744	36,468	37,192	37,916
	42	53,967	56,473	58,979	61,485	63,990
30	35	43,676	44,842	46,007	47,173	48,339
	42	58,711	61,575	64,440	67,304	70,169
35	35	51,604	53,174	54,744	56,314	57,884
	42	63,455	66,678	69,901	73,124	76,347
40	35	58,804	60,741	62,679	64,616	66,554
	42	68,198	71,780	75,362	78,944	82,526
45	35	65,275	67,543	69,811	72,078	74,346
	42	72,942	76,882	80,823	84,763	88,704
50	35	71,019	73,580	76,140	78,701	81,262
	42	77,685	81,985	86,284	90,583	94,882
55	35	76,035	78,851	81,668	84,484	87,301
	42	82,429	87,087	91,745	96,403	101,061
60	35	80,322	83,357	86,393	89,428	92,463
	42	87,173	92,189	97,206	102,223	107,239

Таблица В.17 – Погрешность расчетных значений обогащения перловой крупы железом относительно экспериментальных

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	1,05	1,31	1,24	0,86	0,25
	42	1,62	1,22	1,54	0,82	2,24
30	35	0,43	0,95	1,47	0,71	0,20
	42	0,94	0,67	2,24	2,66	0,84
35	35	0,12	0,62	1,75	0,71	0,51
	42	0,40	0,23	2,34	2,62	0,32
40	35	0,66	0,39	1,00	0,16	1,71
	42	0,01	0,43	2,13	2,30	0,06
45	35	0,99	0,52	0,15	0,20	1,21
	42	0,15	0,50	0,27	0,99	0,08
50	35	1,41	0,89	0,39	0,65	0,88
	42	1,44	2,38	2,39	3,02	3,74
55	35	0,52	0,78	0,46	0,23	1,21
	42	1,71	0,48	0,20	0,73	2,29
60	35	1,24	1,28	0,49	1,02	0,85
	42	3,39	0,39	1,42	0,09	2,41

Таблица В.18 – Погрешность расчетных значений обогащения овсяной крупы железом относительно экспериментальных

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	2,00	0,91	0,45	1,83	3,58
	42	1,22	1,33	0,60	1,63	2,12
30	35	2,67	2,05	1,06	0,04	1,36
	42	0,69	1,10	0,43	1,22	1,46
35	35	2,38	4,24	3,74	3,86	3,78
	42	0,18	0,86	0,56	1,10	1,11
40	35	1,23	1,30	1,17	0,99	0,27
	42	0,41	0,54	0,66	0,91	0,67
45	35	3,58	3,06	2,56	0,99	0,49
	42	0,87	0,35	1,23	0,08	0,42
50	35	2,95	1,98	0,93	0,40	0,03
	42	0,70	0,36	0,43	0,46	2,36
55	35	1,45	0,98	0,72	0,68	1,29
	42	3,07	0,97	2,19	0,88	3,31
60	35	1,99	1,78	1,58	1,07	0,49
	42	2,38	0,02	0,39	0,24	0,45

Таблица В.19 – Погрешность расчетных значений обогащения перловой крупы цинком относительно экспериментальных

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	2,08	2,22	0,15	0,40	1,17
	42	3,48	4,51	1,77	2,83	3,85
30	35	0,08	0,32	1,78	1,27	0,23
	42	0,52	1,74	0,61	0,01	1,30
35	35	0,50	0,16	1,58	0,78	0,55
	42	0,66	0,83	1,47	0,61	0,93
40	35	1,12	0,11	1,76	0,66	0,97
	42	1,18	0,44	1,97	1,93	0,18
45	35	1,11	0,80	0,61	0,16	0,76
	42	0,91	0,08	0,43	0,69	0,11
50	35	1,43	0,79	0,22	0,24	0,51
	42	1,09	0,66	0,23	0,48	0,73
55	35	0,36	1,25	0,45	0,20	1,26
	42	1,67	0,00	0,35	1,04	1,46
60	35	0,81	1,54	0,65	0,19	0,21
	42	2,90	0,67	3,04	1,90	0,18

Таблица В.20 – Погрешность расчетных значений обогащения овсяной крупы цинком относительно экспериментальных

Температура, °С	Частота, кГц	Продолжительность обработки, мин				
		10	15	20	25	30
25	35	1,75	0,67	0,96	2,19	4,22
	42	1,72	1,05	0,73	1,84	2,42
30	35	2,47	1,71	0,43	0,48	2,29
	42	1,06	1,57	0,16	0,91	1,16
35	35	2,28	1,90	1,02	0,46	1,21
	42	0,50	1,30	0,10	0,53	0,42
40	35	0,86	0,76	0,23	0,11	1,39
	42	0,00	1,13	0,06	0,06	0,42
45	35	2,34	3,10	3,12	1,78	1,78
	42	0,41	0,28	0,41	0,89	0,80
50	35	2,50	1,80	1,27	1,13	1,08
	42	0,26	1,63	0,71	0,23	0,76
55	35	0,50	0,18	0,28	0,25	0,46
	42	2,77	0,50	1,37	0,07	2,27
60	35	0,50	0,80	1,02	0,79	0,69
	42	2,08	0,58	2,03	1,16	0,03

**Приложение Г**  
**Проект технических условий для крупы овсяной и перловой**  
**обогащенных микроэлементами в ультразвуковом поле**  
**с использованием естественных минеральных вод**

**Область применения**

Настоящий стандарт распространяется на овсяную и перловую крупу, обогащенную минеральными водами, предназначенную для пищевых целей.

**Технические требования**

В качестве сырья выступает овсяная крупа (ТУ 9294-007-54844059-02) и перловая крупа (ТУ 9294-005-54844059-02).

1. Минеральная вода используемая для обогащения должна соответствовать ГОСТ Р 54316-2011.

2. Обогащенная овсяная и перловая крупа должны соответствовать требованиям и нормам, указанным в таблице 3.26.

3. Содержание токсичных элементов, микотоксинов и пестицидов в крупе не должно превышать допустимые уровни, установленные СанПиН 2.3.2.1078-01.

Таблица Г.1 – Требования, предъявляемые к обогащенным овсяной и перловой крупам

Показатель	Овсяная крупа	Перловая крупа
1	2	3
Цвет	От серовато желтый до светло коричневого	От белого с желтоватым оттенком до серого
Запах	Свойственный нормальной овсяной крупе без посторонних запахов, не затхлый не плесневый	Свойственный нормальной перловой крупе без посторонних запахов, не затхлый не плесневый
Вкус	Свойственный нормальной овсяной крупе, без посторонних привкусов, не кислый, не горький, возможен слабый металлический привкус не портящий продукт.	Свойственный нормальной перловой крупе, без посторонних привкусов, не кислый, не горький, возможен слабый металлический привкус не портящий продукт.
Влажность, %	12,5	15
Доброкачественное ядро, %	99	99,6



1	2	3
Сорная примесь, % В том числе:	0,3	0,3
минеральная примесь	0,1	0,05
вредная примесь	0,05	0,05
Мертвые вредители, шт/кг	Не допускается	Не допускается
Мучка, %	0,3	0,2
Металломагнитная примесь, мг в 1 кг крупы	3,0	3,0
Зараженность и загрязненность вредителями	Не допускается	Не допускается

### Приемка

1. Правила приемки – по ГОСТ 26312.1. 84.
2. Каждая партия обогащенной крупы должна сопровождаться сертификатом об остаточных количествах пестицидов, содержании токсичных элементов и микотоксинов.
3. Контроль за содержанием токсичных элементов, микотоксинов и пестицидов осуществляется в соответствии с порядком, установленным изготовителем продукции по согласованию с органами государственного санитарного надзора и гарантирующим безопасность продукции.

### Методы определения качества

1. Отбор проб и методы испытаний – по ГОСТ 26312.1, ГОСТ 26312.2-84, ГОСТ 26312.7-88, ГОСТ 20239-74, ГОСТ 26312.3-84, ГОСТ 26312.4-84.
2. Определение кислотности – по ГОСТ 26971-86.
3. Определение микробиологических показателей – по ГОСТ 1044.15-94.
4. Содержание токсичных элементов определяют по ГОСТ 30178-96, микотоксинов МУК 5-1-14/1001, пестицидов МУ 2142-80, МУК 4.1.1132-02, МУ 5178-90, радионуклидов – по МУК 2.6.2.717-98.

### Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение – по ГОСТ Р 1074-2003.

*Редактор В.А. Сорокина*

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 10.02.2015. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 7,75. Тираж 500 экз. Заказ № 60

Издательство Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117