

Исследование свойств гуаровой камеди после ультразвукового воздействия при различной кислотности водных растворов

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН),
р.п. Краснообск, Российская Федерация

К.Н. Нициевская, С.В. Станкевич, Е.В. Бородай, В.Б. Мазалевский

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Нициевская Ксения Николаевна
E-mail: nitsievskayakn@sfsca.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Нициевская, К. Н., Станкевич, С. В., Бородай, Е. В., & Мазалевский, В. Б. (2024). Исследование свойств гуаровой камеди после ультразвукового воздействия при различной кислотности водных растворов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(2), 37–50. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.506>

ПОСТУПИЛА: 30.10.2023

ДОРАБОТАНА: 03.06.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Применение гуаровой камеди в пищевой промышленности для создания низкокалорийных продуктов позволяет сохранить структурные характеристики традиционных аналогов. Для моделирования вязкости и стабилизации текстуры продукта применяют различные электрофизические методы, в т.ч. ультразвук. Влияние ультразвукового воздействия на стабилизацию гуаровой камеди мало изучено.

Цель: Изучение влияния ультразвуковой обработки на свойства полисахарида (гуаровой камеди) для ее дальнейшего использования при производстве пищевых продуктов (желейного мармелада, пастилы, зефира, мясных и рыбных студней, желе, пудингов, мороженого и т.д.) со стабильной текстурой.

Материалы и методы: Объектами исследования являлись образцы – водные растворы гуаровой камеди. В качестве растворителя использовали очищенную воду в соотношении 1:100 соответственно. Образцы подвергали ультразвуковому воздействию при различном диапазоне времени и pH. Изучали поведение полисахарида в водном растворе под воздействием ультразвука при разных значениях pH среды (3,9, 7,0 и 9,0). Стандартными методами определяли вязкость, активную кислотность, температуру водных растворов гуаровой камеди и прозрачность (коэффициент пропускания, T%). Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программы Statistica 12. Для анализа органолептических свойств применяли дескрипторно-профильный метод.

Результаты: Проведенные исследования свойств гуаровой камеди по показателям «активная кислотность» и «вязкость» указывали на смещение к нейтральному диапазону pH, вне зависимости от начальной pH среды. При интенсивности воздействия ультразвука до 50 Вт/см² не более 3 мин водный раствор гуаровой камеди сохранил свои стабилизирующие свойства при минимальной потере вязкости. Образцы с нейтральной средой отличались более плотным расположением частиц, чем образцы с кислой и щелочной средой.

Выводы: Исследование влияния ультразвука на свойства водного раствора гуаровой камеди показало, что при увеличении продолжительности обработки и интенсивности ультразвукового воздействия уменьшались как размер частиц гуаровой камеди, так и вязкость.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

водные растворы; гуаровая камедь; ультразвук; активная кислотность; вязкость, микроструктура

Investigation of the Properties of Guar Gum after Ultrasonic Exposure at Different Acidity of Aqueous Solutions

Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russian Federation

Kseniya N. Nitsievskaya, Svetlana V. Stankevich, Elena V. Boroday, Viktor B. Mazalevskiy

CORRESPONDENCE:

Nitsievskaya Kseniya Nikolaevna
E-mail: nitsievskayakn@sfsca.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Nitsievskaya, K. N., Stankevich, S. V., Boroday, E. V., & Mazalevskiy, V. B. (2024). Investigation of the properties of guar gum after ultrasonic exposure at different acidity of aqueous solutions. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 37–50.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.506>

RECEIVED: 30.10.2023

REVISED: 03.06.2024

ACCEPTED: 15.06.2024

PUBLISHED: 30.06.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

ABSTRACT

Introduction: The application of guar gum in the food industry for creating low-calorie products enables the preservation of structural characteristics similar to traditional counterparts. Various electrophysical methods, including ultrasound, are utilized to simulate viscosity and stabilize the product's texture. However, the effect of ultrasound on the stabilization of guar gum remains poorly understood.

Purpose: To investigate the effect of ultrasonic treatment on the properties of polysaccharide (guar gum) for its potential use in the production of food products with stable texture, such as jelly marmalade, pastilles, marshmallows, meat and fish jellies, puddings, and ice cream.

Materials and Methods: The study focused on the samples of aqueous solutions containing guar gum, with purified water used as the solvent at a ratio of 1:100. The samples underwent ultrasonic treatment for varying durations and pH levels. The behavior of guar gum in the aqueous medium under ultrasound at different pH values (3.9, 7.0, and 9.0) was analyzed. Key parameters such as viscosity, active acidity, temperature, and transparency (transmittance, T%) were measured using standard methods. Data analysis, including regression analysis, was performed using Statistica 12 software. The descriptor-profile method was employed to assess organoleptic properties.

Results: The study on the aqueous medium with guar gum, focusing on «active acidity» and «viscosity», revealed a shift towards the neutral pH range, regardless of the initial pH. At ultrasound intensities up to 50 W/cm² for no more than 3 minutes, the aqueous medium with guar gum maintained its stabilizing properties with minimal loss of viscosity. Samples in a neutral medium exhibited a denser particle arrangement compared to those in acidic and alkaline media.

Conclusion: The investigation into the effect of ultrasound on the properties of guar gum in aqueous media demonstrated that both the size and density of guar gum particles decreased with increasing treatment duration and ultrasound intensity. This study provides insights into optimizing the use of guar gum for enhancing the texture stability of various food products.

KEYWORDS

aqueous media; guar gum; ultrasound; active acidity; viscosity; microstructure



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время исследуется влияние ультразвукового воздействия на физические и биологические объекты (Зибарева, 2018; Dzah, 2020; Слободского, 2023).

Он используется в различных областях пищевой технологии, таких как кристаллизация, замораживание, отбеливание, дегазация, экстракция, сушка, фильтрация, эмульгирование, стерилизация (Калужина, 2024; Стремин, 2023). В качестве эффективного инструмента консервации ультразвук широко применяется в таких областях пищевой промышленности, как переработка фруктов и овощей, круп, меда, гелей, белков, ферментов, микробной инактивации, технологии производства продуктов питания и напитков и т.д. (Пушкарь, 2020; Абрамов, 2022). Ультразвук применяется при производстве термочувствительных продуктов питания, поскольку он сохраняет сенсорные, питательные и функциональные свойства, одновременно увеличивая срок хранения и микробную безопасность (Ультразвуковая технология, 2023; Цугленок, 2019; Елапов 2021).

Ультразвуковое воздействие, как метод технологической обработки известен низкой стоимостью и экологическим характером с различной областью применения, например, для гомогенизации или ускорения массообменных процессов инактивации антипитательных веществ (Carrillo-Lopez, 2017; Ashokkumar, 2008; John, 2019; Ситникова, 2023; Нициевская, 2023; Макаров, 2023).

Одним из путей сохранения здоровья людей является создание на научной основе полноценных продуктов питания, разработка технологий продуктов с функциональными ингредиентами, пищевыми волокнами¹, витаминами, макро- и микроэлементами со стабильными реологическими характеристиками (Быков, 2021; Бойцова, 2015; Кувшинова, 2019; Rana, 2020).

В работах авторов (Арисов, 2022; Калугина, 2023; Брадис, 2022; Николаева, 2023) при разработки пищевой продукции со стабильной реологическими

использовали гуаровую камедь, что объясняется физико-химическими свойствами объекта. Гуаровая камедь — самый востребованный в мире источник галактоманнана, который после извлечения и переработки используется под названием гуаровая камедь (гуаран), в силу своей безопасности и нетоксичности, возможности получения из возобновляемых природных ресурсов, легко и в большом количестве доступный. Она находит широкое применение в качестве натурального загустителя, стабилизатора и уплотнителя в бумажной, текстильной, фармацевтической, пищевой, косметической отраслях промышленности, но особенно востребована в газонефтяной отрасли (Дзюбенко, 2023; Щербухин, 1999; Chudzikowski, 1971; Mudgil, 2014; Hasan, 2018; Pathak, 2015; Thombare, 2016).

Гуаровая камедь² обладает достаточной вязкостью и повышенной эластичностью, хорошо растворима в воде. Благодаря этим свойствам признаётся весьма эффективным эмульгатором и стабилизатором. При циклах замораживания и разморозки продуктов гуаровая камедь отличается хорошей устойчивостью, замедляет возникновение кристаллов льда, образуя структурированный гель. В целом, камеди являются сложными высокомолекулярными углеводами, не входящими в состав клеточной оболочки растений. В кишечнике они способны связывать соли тяжелых металлов и холестерин. (Berninger, 2021; Ахмедов, 2017).

Химический состав камедей неоднороден: они относятся к гетерополисахаридам (гексозаны, пентазаны, полиуронида). Гуаровая камедь хорошо диспергирует и набухает в холодной и горячей воде с образованием вязких коллоидных растворов. Высокая растворимость гуара объясняется наличием в составе его молекул часто чередующихся участков с боковыми цепями (Муханова, 2021). Гуаровая камедь, благодаря уникальным свойствам своих водных растворов и отсутствию токсичности, используется в качестве пищевых добавок, стабилизаторов, флокулянтов, загустителей и гелеобразователей в бинарных смесях (Дзюбенко, 2023; Неповинных, 2019; Hosseini, 2014).

¹ В группу пищевых волокон входят полисахариды – это обширная группа веществ разнообразной химической природы, имеющих полимерное строение, полученных из сырья растительного, животного или микробного происхождения.

² Согласно данным ботанико-фармакогностического словаря камедями считают продукты, выделяющиеся из надразов и трещин растений или получаемые в результате их промышленной переработки, а также относятся препараты на основе полисахаридов, продуцируемых некоторыми видами микроорганизмов

Анализ научных работ указал на отсутствие знания в области влияния ультразвука на реологические свойства гуаровой камеди при различных pH водных растворов.

Целью данного исследования являлось изучение влияния ультразвукового воздействия на свойства водного раствора гуаровой камеди различного диапазона pH для дальнейшего ее использования в производстве пищевой продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Использовали водные растворы гуаровой камеди (Мастер Слим, Россия) — пищевая добавка E412. Для уменьшения погрешности исследований в качестве растворителя применяли очищенную воду в диапазоне pH 3,9–9,0 при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ в соотношении 1:100. Кислотность водных растворов регулировали с использованием 0,1N раствора соляной кислоты до pH = 3,9 и 0,1N гидроксида натрия до pH = 9,0.

Оборудование

Весы аналитические марки Ohaus PA214 (Китай), низкочастотный ультразвуковой аппарат «Алена» модель УЗТА-0,2/22 (Россия), pH-метр марки Нитрон (Россия), термометр Testo 905-T1 (Германия) с погрешностью измерений $\pm 0,5^\circ\text{C}$, вибровискозиметр серии SV-1A (Япония), микроскоп марки Carl Zeiss Stereo Discovery V8 с камерой Axio CamI Cc 5 и программным обеспечением ZEN (Германия),

Инструменты

Стеклянная тара номиналом 100 см³, цилиндры мерные, дистиллированная вода, 0,1N раствор соляной кислоты, 0,1N гидроокись натрия, предметное стекло.

Методы

Активную кислотность pH определяли ионометрическим методом. Исследование динамики вязкости проводили с использованием вибровискозиметра серии SV-1A (Япония). Исследование коэффициента пропуска с применением оптических ме-

тодов на фотоэлектроколориметре КФК-2. Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программ Statistica 12, опыты проводились в трехкратной повторности со статистической значимостью. Проверка адекватности уравнений регрессии проводили с применением F-критерия Фишера. Значимость коэффициентов регрессии оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. За контролируемые параметры взяты следующие показатели: активная кислотность (pH, ед.), температура (t, °C), динамическая вязкость (mPa*s), коэффициент пропуска (T%), размер частиц размерами (мкм). Для органолептического анализа применяли дескрипторно-профильный метод при сравнении образцов между собой, с учетом стандартной терминологии и методик по ГОСТ ISO 5492–2014, ГОСТ ISO 6658–2016, ГОСТ ISO 8587–2015, ГОСТ ISO 8586–2015, ГОСТ ISO 11036–2017, ГОСТ ISO 13299–2015.

Процедура исследования

Обработку водных растворов в объеме 400 см³ осуществляли с использованием низкочастотного ультразвукового аппарата «Алена», модель УЗТА-0,2/22 (Россия) в режиме $22 \pm 1,65$ кГц с интенсивностью ультразвукового воздействия 50 и 100 Вт/см², пробы отбирали в объеме 10 см³ в интервале времени каждые 3 минуты, в процессе обработки температурный режим не превышал 50 °C. В результате отбора проб использовали следующую кодировку образцов для дальнейших исследований представленной в таблице 1.

Сначала изучали вязкость и активную кислотность без применения ультразвука, затем также оценивали влияние ультразвуковой обработки на изменение параметров водных растворов гуаровой камеди. Активную кислотность pH определяли ионометрическим методом с использованием pH-метра марки Нитрон (Россия), который был откалиброван по стандартным показателям буфера pH с погрешностью измерений $\pm 0,05$ ед. Измерения проводили в диапазоне температуры $t = 21,0 \pm 1^\circ\text{C}$. Температуру измеряли термометром Testo 905-T1 (Германия) с погрешностью измерений $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Также проводили исследования для установления термообратимых свойств полученных водных растворов гуаровой камеди. Водные растворы подвергали охлаждению до температуры $t = 4,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течении 12 часов. Далее проводили анализ показателя «вяз-

Таблица 1

Кодировка образцов

Водные растворы гуаровой камеди (pH=7,0)	
УЗ.К.0	контрольный образец без обработки
УЗ.К.1	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.2	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.3	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.4	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
УЗ.К.5	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
УЗ.К.6	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
Водные растворы гуаровой камеди (pH=3,9)	
УЗ.К.К.0	контрольный образец без обработки
УЗ.К.К.1	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.К.2	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.К.3	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.К.4	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
УЗ.К.К.5	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
УЗ.К.К.6	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
Водные растворы гуаровой камеди (pH=9,0)	
УЗ.К.Щ.0	контрольный образец без обработки
УЗ.К.Щ.1	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.Щ.2	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.Щ.3	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см ²
УЗ.К.Щ.4	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
УЗ.К.Щ.5	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²
УЗ.К.Щ.6	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см ²

кость», измеряли на аппарате вибровискозиметре серии SV-1A (Япония) в единицах измерений mPa*s, откалиброванном согласно методике исследований с погрешностью измерений $\pm 0,3$ mPa*s. Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программы Statistica 12. Исследование влияния ультразвукового воздействия на водные растворы осуществляли с применением микроскопа марки Carl Zeiss Stereo Discovery V8 с камерой Axio Cam ICc 5 и программным обеспечением ZEN (Германия), микроструктуру водных растворов гуаровой камеди изучали при увеличении 60X, подсчет частиц в диапазоне размеров частиц от 5 до 250 мкм. Прозрачность образцов проверяли посредством измерения коэффициента пропускания (Т%) с использования спектрометрии, с помощью прибора КФК-2 при длине волны 540 нм в кювете со слоем толщиной 10 мм (выбор данной длины волны объясняется чувствительностью к свету человеческим глазом в зелёной части спектра). В качестве эталонного раствора использовали очищенную воду.

Анализ данных

Актуальность применения гуаровой камеди в производстве пищевых продуктов проводили согласно контент-анализу, использовали сайты — Scopus, Web of Science, Core Collection, Theme Journals, CASC, ProQuest Agricultural, EBSCO; отечественные базы: ЭК ГПНТБ СО РАН, ВИНТИ, НЭБ, Eastview, Агрос, РГБ, elibrary, Google Scholar.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью данного исследования являлось изучение влияния ультразвукового воздействия на свойства водных растворов гуаровой камеди для дальнейшего ее использования в производстве пищевой продукции.

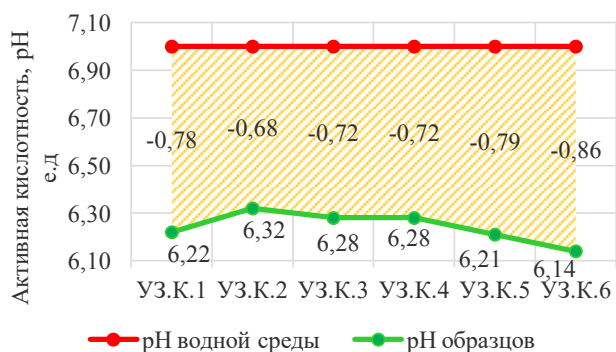
Исследование вязкости и активной кислотности водных растворов гуаровой камеди

Проведенные исследования водных растворов гуаровой камеди по показателям «активная кислотность» и «вязкость» указывали на смещение к нейтральному диапазону pH, вне зависимости от начальной pH среды. Данный факт в дальнейшем необходим при моде-

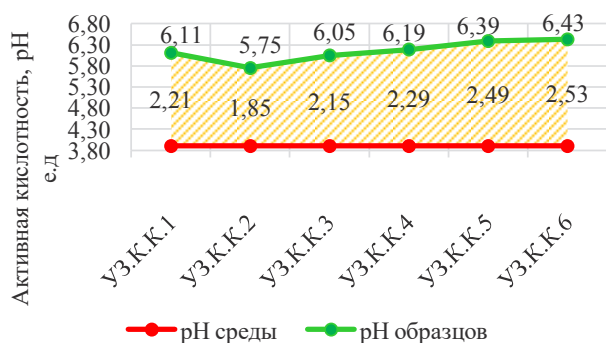
лировании продукции с заданным рН. Исследование динамики изменения кислотности водных растворов гуаровой камеди представили на Рисунке 1.

Рисунок 1

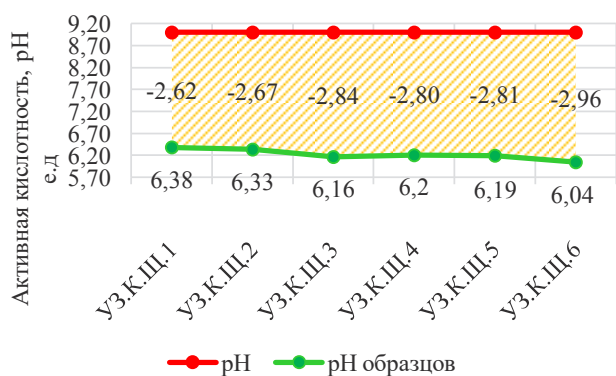
Исследование динамики кислотности в образцах водных растворов гуаровой камеди, при $n=3$, $p=0,90$:



а)



б)



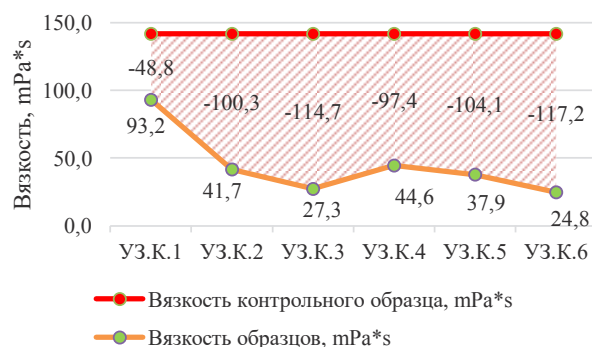
в)

Примечание. а) – с нейтральным рН; б) с кислым рН; в) с щелочным рН

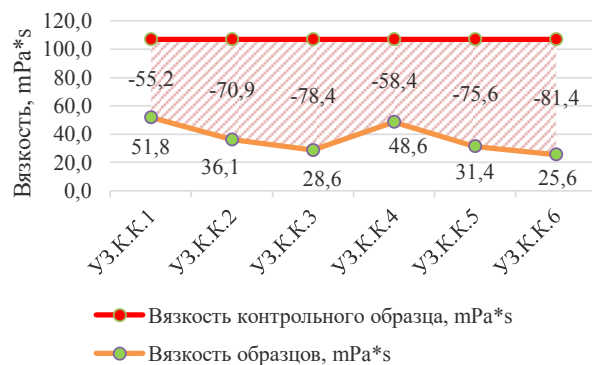
Графики исследования показателя «вязкость» (Рисунок 2) представили с отклонением от контрольных образцов.

Рисунок 2

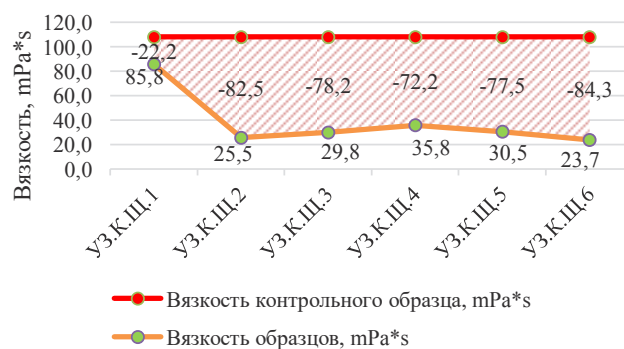
Исследование динамики вязкости в образцах водных растворов гуаровой камеди, при $n=3$, $p=0,90$



а)



б)



в)

Примечание. а) – с нейтральным рН; б) с кислым рН; в) с щелочным рН

В водных растворах гуаровой камеди с нейтральным pH контрольный образец (№ УЗ.К.0) имел значение 142,0 мПа*с, дальнейшая динамика снижения при обработке 50 Вт/см², составила 27,3 мПа*с в образце № УЗ.К.3 и 24,8 — № УЗ.К.6. Постепенно снижающаяся динамика указывала на допустимое применение интенсивности воздействия до 50 Вт/см² не более 3 мин, тогда воздействие ультразвука было минимальным и водные растворы гуаровой камеди сохраняли свои стабилизирующие свойства при минимальной потере вязкости (образец № УЗ.К.1). Данные по анализу показателя «вязкость» в кислой и щелочной среде аналогичны в выборе допустимого уровня интенсивности воздействия (50 Вт/см² не превышающие длительность обработки более 3 минут), единственное отличие — начальная точка контрольного образца, так для кислой среды в образце № УЗ.К.К.0 — 107,0, в щелочной 108,0 (образец № УЗ.К.Щ.0).

Результаты регрессионного анализа зависимости вязкости (при x_1 — продолжительность обработки, мин; x_2 — интенсивность обработки, Вт/см²) имели вид уравнения:

– для водных растворов гуаровой камеди с нейтральной pH (7,0):

$$y = 134,70 - 8,36x_1 - 0,51x_2, \\ \text{при } R^2 = 0,91, F\text{-критерий} = 0,007.$$

– для водных растворов гуаровой камеди с кислой pH (3,9):

$$y = 95,70 - 5,73x_1 - 0,30x_2, \\ \text{при } R^2 = 0,89, F\text{-критерий} = 0,011.$$

– для водных растворов гуаровой камеди с щелочной pH (9,0):

$$y = 96,22 - 5,79x_1 - 0,28x_2, \\ \text{при } R^2 = 0,79, F\text{-критерий} = 0,070.$$

Водные растворы гуаровой камеди с нейтральной pH при анализе контрольного образца и ее дальнейшее изменение под действием ультразвука представлены в виде изменения показателя «вязкости» и органолептических характеристик.

Исследование органолептических характеристик водных растворов гуаровой камеди

Изменения органолептических характеристик представлено на Рисунке 3.

Органолептический анализ образцов проводили дескрипторно-профильным методом по дескрипторам, представленным в Таблице 1.

Таблица 1

Наименование дескрипторов

Характеристика текстуры		Характеристика цвета	
ЭТ	эластичность текстуры	ПЦ	прозрачность цвета
ВТ	вязкая текстура	№	Характеристика вкуса и запаха
ЗТ	зернистость (однородность) текстуры	БФ	безвкусный флейвор
ПТ	плотность текстуры	СФ	слабый флейвор

Водные растворы гуаровой камеди при pH = 7,0 при интенсивности воздействия 50 Вт/см² имели отклонения от контрольного образца (№УЗ.К.0):

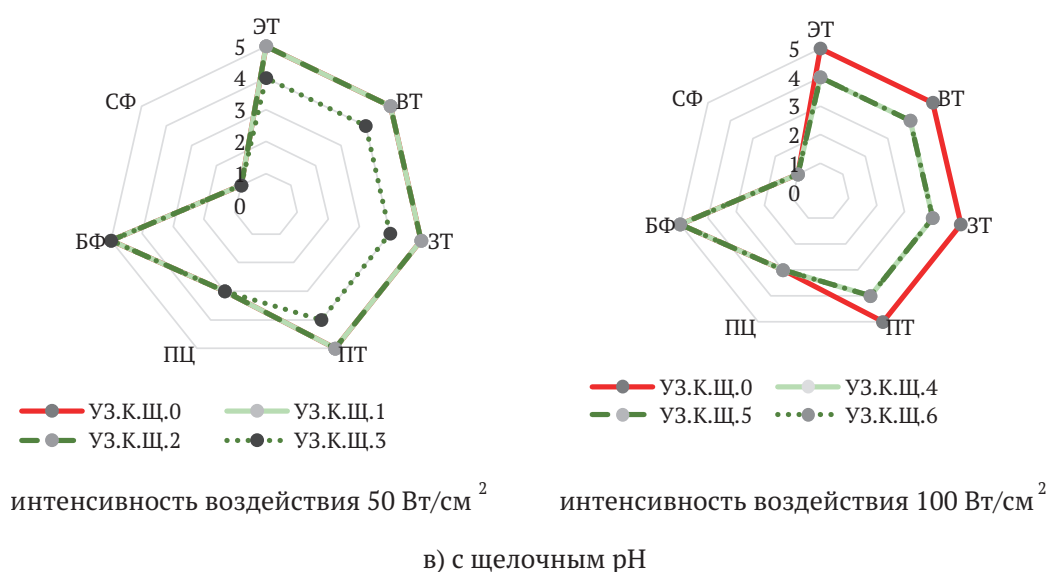
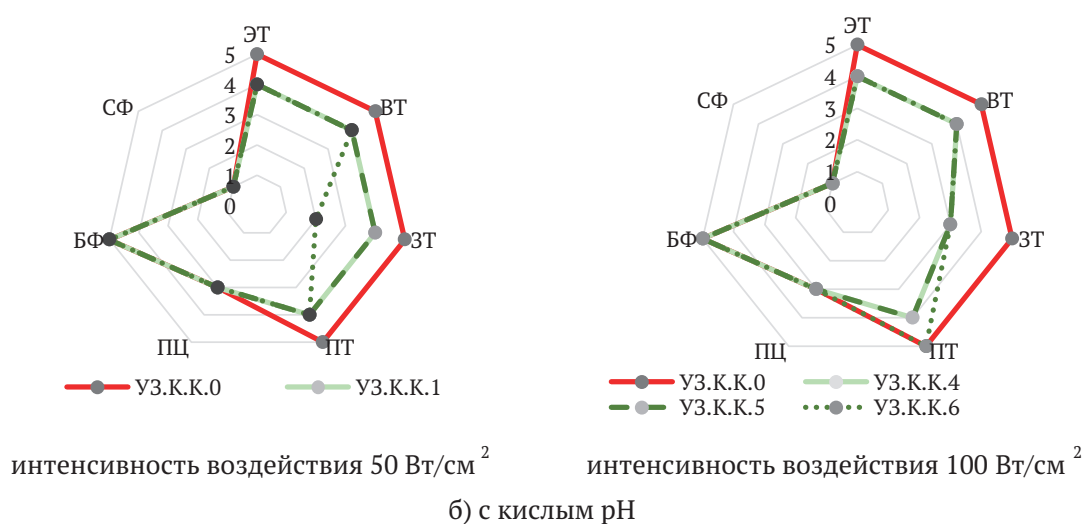
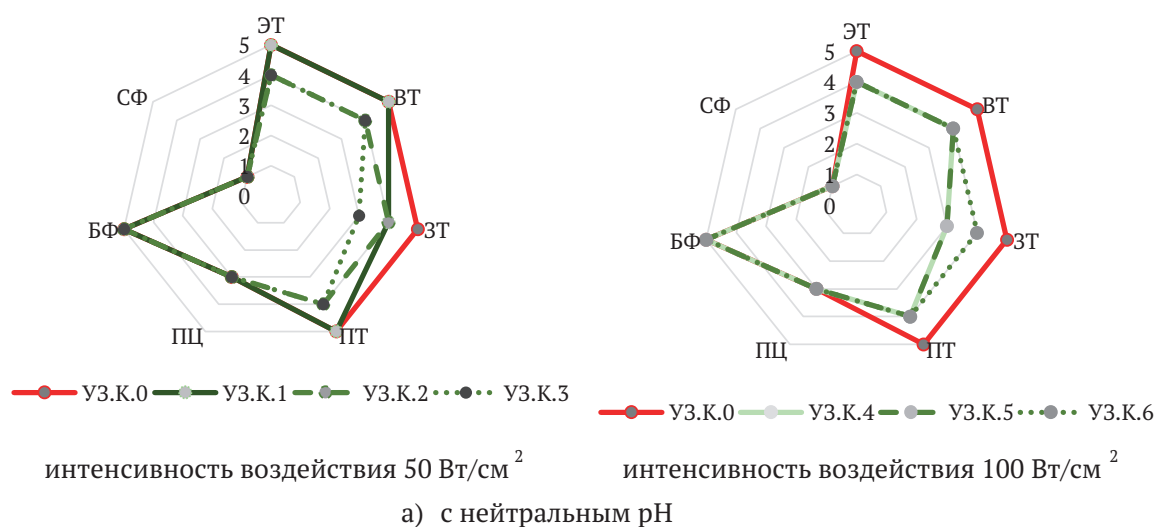
- образец № УЗ.К.1 по дескриптору ЗТ — «однородность текстуры»;
- образец № УЗ.К.2 по показателям ЭТ — «эластичность текстуры», ВТ — «вязкая текстура», ЗТ — «зернистость текстуры», ПТ — «плотность текстуры»;
- образец № УЗ.К.3 аналогично образцу № УЗ.К.2 имел снижения баллов по упомянутым дескрипторам.

Водные растворы гуаровой камеди с pH = 7,0 при интенсивности воздействия 100 Вт/см² имели отклонения от контрольного образца (№ УЗ.К.0) во всех образцах (№ УЗ.К.4–УЗ.К.6) по показателям текстуры. При анализе данных исследования водных растворов гуаровой камеди оптимальным параметром обработки по органолептическим показателям являлась интенсивность воздействия 50 Вт/см² при обработке 3 минуты (образец № УЗ.К.1).

Водные растворы гуаровой камеди с pH = 3,9 при интенсивности воздействия 50 и 100 Вт/см² имели отклонения от контрольного образца (№ УЗ.К.К.0) по показателям текстуры (№ 1–4 согласно Таблице 1), за исключением образца № УЗ.К.Щ.1, полностью повторяющего дескрипторный профиль контрольного образца согласно полученным баллам.

Рисунок 3

Исследование изменения водных растворов гуаровой камеди после воздействия ультразвука, при $n=3$, $p=0,90$



Исследования дисперсности водных растворов гуаровой камеди

Расчет средних размеров частиц в образцах показал, что с увеличением продолжительности обработки и интенсивности ультразвукового воздействия происходило последовательное измельчение частиц. Большими и средними размерами при одинаковых параметрах обработки обладали частицы в образцах с кислой средой, меньшими с щелочной. Исследования дисперсности водных растворов гуаровой камеди представлены в Таблице 2.

Проведенное исследование микроструктуры показало, что в образцах без обработки наблюдались скопления частиц размерами до 200 мкм. В образцах №УЗ.К.3, УЗ.К.К.3 и УЗ.К.Щ.3 присут-

ствовали частицы с максимальными размерами до 150 мкм, в образцах УЗ.К.К.6, УЗ.К.6 и УЗ.К.Щ.6 можно рассмотреть конгломераты частиц размерами до 100 мкм. При увеличении продолжительности обработки и интенсивности ультразвукового воздействия уменьшался как размер, так и плотность расположения частиц. Образцы с нейтральной средой отличались более плотным расположением частиц, чем образцы с кислой и щелочной средой.

Результаты исследования микроструктуры образцов представлены на Рисунке 4.

Расчет средних размеров частиц в образцах водных растворов гуаровой камеди при различной pH представлен в Таблице 2.

Рисунок 4

Микроструктура водных растворов гуаровой камеди, при увеличении 60X

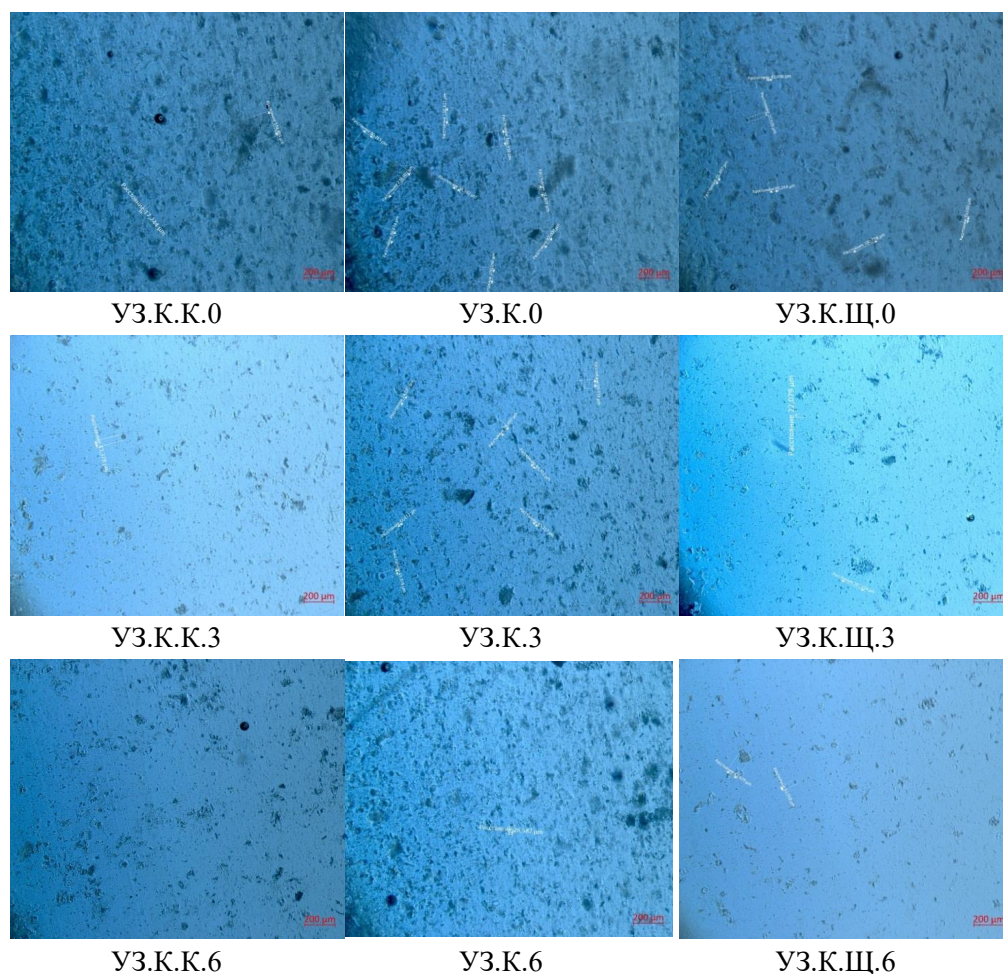


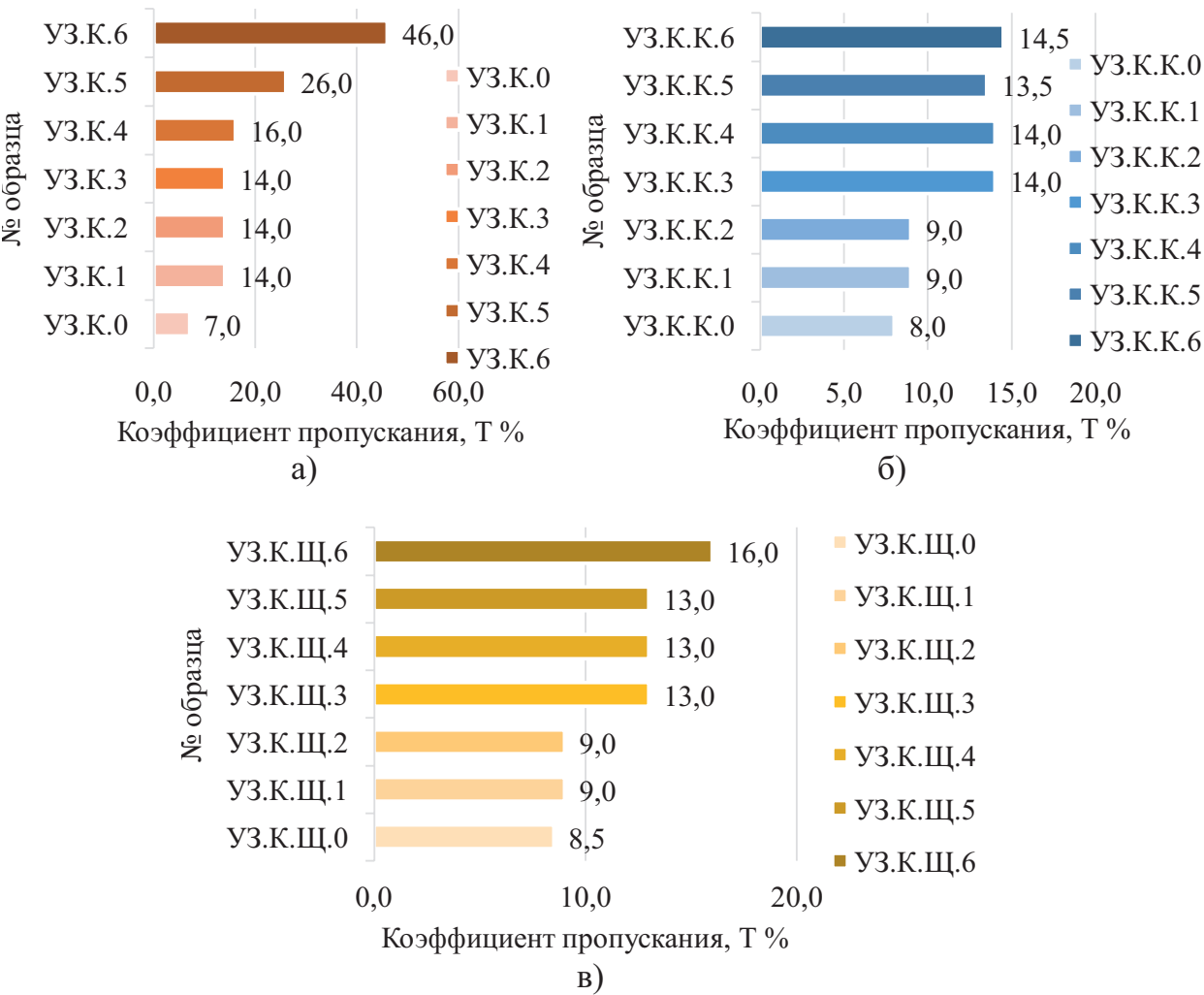
Таблица 2

Исследования дисперсности водных растворов гуаровой камеди

№ образца	Параметры обработки водных растворов			Размеры частиц, от 5 до 250 мкм	
	Продолжительность обработки, мин X1	Интенсивность ультразвукового воздействия, Вт/см² X2	с кислот рН (рН=3,9)	Масса творожника после жарения, г	Потери и прирост массы творожника после жарения, %
0	0	0	39	35	33
1	3	50	33	31	26
2	6	50	31	29	24
3	9	50	27	26	23
4	3	100	26	24	19
5	6	100	23	21	18
6	9	100	20	19	17

Рисунок 5

Динамика изменения коэффициента пропускания (Т,%) водных растворов гуаровой камеди



Примечание: а – при рН = 7,0; б- при рН = 3,9; в – при рН = 9,0), при n = 3, р = 0,90

Результаты регрессионного анализа зависимости размера частиц от параметров обработки имели вид уравнения (3):

– для водных растворов гуаровой камеди с нейтральной pH (7,0):

$$y = 39,38 + 0,09x_1 - 0,07x_2 - 0,23x_3,$$

при $R^2 = 0,99$, F-критерий = 0,00025

– для водных растворов гуаровой камеди с кислой pH (3,9):

$$y = 37,75 - 1,19x_1 - 0,13x_2 + 0,13x_3,$$

при $R^2 = 0,98$, F-критерий = 0,0063

– для водных растворов гуаровой камеди с щелочной pH (9,0):

$$y = 33,53 - 0,27x_1 - 0,12x_2 - 0,04x_3,$$

при $R^2 = 0,99$, F-критерий = 0,00008

Инструментальный метод исследования показателей цветности представили в виде анализа коэффициента пропускания. Растворение гуаровой камеди в кислой и щелочной среде создавало более мутную цветность, снижая коэффициент пропускания при обработке 9 минут и интенсивности 100 Вт/см² для образца № УЗ.К.К.6 показатель составлял 14,5 % (кислая среда) и при той же обработке в образце № УЗ.К.Щ.6 до 16,0% (щелочная среда). Динамика растворения коллоида в нейтральной среде происходила более интенсивно и составляла в образце № УЗ.К.6 — 46,0%. При воздействии в параметрах с интенсивностью 50 Вт/см² различий между образцами практически не обнаружено — для сравнения: в образце № УЗ.К.3 — 14,0 %, в образце № УЗ.К.К.№ — 14,0 % и в образце № УЗ.К.Щ.3 — 13,0 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель исследования в изучении влияния ультразвукового воздействия на свойства водных растворов гуаровой камеди достигнута, проанализированы образцы по нескольким характеристикам. Результаты были ожидаемыми, так как природа ультразвукового воздействия является разрушающей, что описано в проведенных ранее исследованиях (Нициевская, 2023). Результаты исследований ультразвуковой обработки водных растворов гуаровой камеди различного диапазона pH показали, что допустимая интенсивность воздействия ультразвука для сохранения стабилизирующих свойств гуаровой камеди не должна превышать 50 Вт/см² с про-

должительностью обработки не более 3 мин. Превышение заявленных технологических параметров обработки водных растворов приводит к снижению стабилизирующих свойств гуаровой камеди, данные результаты были неожиданными, так как в работах многих авторов доказана устойчивость пищевых систем при введении каррагинана в сыры (Калугина, 2023) или соусы (Брадис, 2022; Николаева, 2023). Неповинных (2019) при исследовании прочности ксантановой камеди параметр находился в пределах $0,41 \pm 0,26$ МПа. В нашей работе исследовалась вязкость водных растворов с гуаровой камедью и максимальное значение вязкости отмечено в растворе с нейтральным pH (№УЗ.К.0) — 142,0 мПа*s, дальнейшая обработка приводила к количественному снижению исследуемого показателя.

Анализ технологических свойств водных растворов с гуаровой камедью направлен на исследование размера частиц и динамику изменения коэффициента пропускания спектрофотометрически.

Основными ограничениями данного исследования являются отсутствие научных работ по влиянию ультразвукового воздействия на различные виды полисахаридов, используемых в пищевой промышленности. В основном работы с применением ультразвука направлены на экстракцию растительного сырья (Елапов, 2021; Абрамов, 2022; Стремин, 2023). Влияние ультразвука с целью создания стабильных водных растворов с использованием гуаровой камеди среди научных работ других авторов не выявлено. Эти ограничения могли повлиять на результативность проведенных исследований и объем сделанных выводов по теме исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения поставленной цели были исследованы водные растворы гуаровой камеди при различных режимах ультразвукового воздействия. Были проанализированы предыдущие исследования и обработаны данные по показателям — активная кислотность, вязкость органолептические характеристики и анализ дисперсности водных растворов. В ходе данного исследования было выявлено, что влияние ультразвуковой обработки свыше 50 Вт/см² с продолжительностью обработки не более 3 мин на водные растворы с гуаровой

камедью приводят к снижению стабилизирующих свойств используемого полисахарида. Основные исследования включали применение воздействия на водные растворы с гуаровой камедью в диапазоне от 50 до 100 Вт/см². Полученные данные применимы при разработке технологии производства продуктов питания с использованием ультразвукового воздействия на стабилизирующие свойства.

Полученные результаты показывают, что применение ультразвука имеет ограниченные области использования при создании продукции с полисахаридами, вследствие изменения стабилизирующих свойств пищевых систем.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Нициевская Ксения Николаевна: общее руководство исследованием; редактирование рукописи.

Станкевич Светлана Владимировна: проведение исследования; создание черновика рукописи; редактирование рукописи.

Бородай Елена Валерьевна: проведение исследования; валидация данных.

Мазалевский Виктор Борисович: проведение исследования; валидация данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Абрамов, В. О., Баязитов, В. М., Камлер, А. В., Федулов, И. С., Никонов, Р. В., Симоненко, С. В., & Симоненко, Е. С. (2022). Исследование влияния ультразвука на процесс экстракции полифенолов из виноградных косточек. *Пищевая промышленность*, 11, 88–92. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.020>
- Abramov, V. O., Bayazitov, V. M., Kamler, A. V., Fedulov, I. S., Nikonov, R. V., Simonenko, S. V., & Simonenko, E. S. (2022). Study of the influence of ultrasound on the process of extraction of polyphenols from grape seeds. *Food Industry*, 11, 88–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.020>
- Арисов, А. В., & Баурова, Я. Д. (2022). Разработка эмульсионных соусов в соответствии с запросами потребителей и оценка их качества. *Промышленность и сельское хозяйство*, 11(52), 6–14.
- Arisov, A. V., & Baurova, Ya. D. (2022). Development of emulsion sauces according to consumer requests and assessment of their quality. *Industry and Agriculture*, 11(52), 6–14. (In Russ.)
- Ахмедов, О. Р., Сохибназарова, Х. А., & Шомуротов, Ш. А. (2017). Биологически активные соединения на основе модифицированной ксантановой камеди. *Химия растительного сырья*, 3, 227–231. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031729>
- Akhmedov, O. R., Sokhibnazarova, Kh. A., & Shomurotov, Sh. A. (2017). Biologically active compounds based on modified xanthan gum. *Chemistry of Plant Raw Material*, 3, 227–231. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031729>
- Бойцова, Т. М., & Назарова, О. М. (2015). Обоснование условий экстракции полисахаридов из настоя семени льна. *Фундаментальные исследования*, 8(1), 14–18.
- Boytsova, T. M., & Nazarova, O. M. (2015). Justification extraction conditions of polysaccharides from infusions of linum ussitatissimum. *Fundamental Research*, 8(1), 14–18. (In Russ.)
- Брадис, М. И., & Бутова, С. Н. (2022). Влияние ксантановой камеди и гуаровой камеди на качественные показатели соевой соусной основы. *Молодой ученый*, 23(418), 68–71.
- Bradis, M. I., & Butova, S. N. (2022). Influence of xanthan gum and guar gum on the quality indicators of soy sauce base. *Young Scientist*, 23(418), 68–71. (In Russ.)
- Быков, А. В., Рязанов, В. А., Нуржанов, Б. С., Шейда, Е. В., Левахин, Г. И., & Дускаев, Г. К. (2021). Изменение химического состава и переваримости сухого вещества подсолнечника при воздействии ультразвука. *Вестник Курганской ГСХА*, 4(40), 29–34. https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_29
- Bykov, A. V., Ryazanov, V. A., Nurzhanov, B. S., Sheida, E. V., Levakhin, G. I., & Duskaev, G. K. (2021). Change in chemical composition and digestibility of sunflower dry matter under the influence of ultrasound. *Vestnik Kurganskoy GSHA*, 4(40), 29–34. (In Russ.) https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_29
- Дзюбенко, Е. А., Сафронова, В. И., & Вишнякова, М. А. (2023). Селекция гуара в Российской Федерации в связи с перспективой производства отечественной камеди (обзор). *Сельскохозяйственная биология*, 58(1), 43–59. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.43rus>
- Dzyubenko, E. A., Safronova, V. I., & Vishnyakova, M. A. (2023). Objective of guar breeding in the Russian Federation in connection with the prospects of domestic guar gum production (Review). *Agricultural Biology*, 58(1), 43–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.43rus>
- Елапов, А. А., Кузнецов, Н. Н., & Марахова, А. И. (2021). Применение ультразвука в экстракции биологически активных соединений из растительного сырья, применяемого или перспективного для применения в медицине. *Разработка и регистрация лекарственных*

- средств*, 10(4), 96–116. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>
- Elapov, A. A., Kuznetsov, N. N., & Marakhova, A. I. (2021). The use of ultrasound in the extraction of biologically active compounds from plant raw materials, used or promising for use in medicine (Review). *Drug Development & Registration*, 10(4), 96–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>
- Зибарева, Л. Н., & Филоненко, Е. С. (2018). Влияние ультразвукового воздействия на экстракцию биологически активных соединений растений семейства Caryophyllaceae. *Химия растительного сырья*, 2, 145–151. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018023703>
- Zibareva, L. N., & Filonenko, E. S. (2018). The influence of ultrasonic treatment on the extraction of biologically active compounds of plants of the family Caryophyllaceae. *Chemistry of Plant Raw Material*, 2, 145–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018023703>
- Калугина, О. И., Потанина, А. С., Курбанова, М. Г., & Крюк, Р. В. (2023). Реологические характеристики имитационного сыра. *Ползуновский вестник*, 2, 124–130. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.016>
- Kalugina, O. I., Potanina, A. S., Kurbanova, M. G., & Kryuk, R. V. (2023). Imitation of a cheese product and its reological characteristics. *Polzunovskiy Vestnik*, 2, 124–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.016>
- Калужина, О. Ю., Гусев, А. Н., Багаутдинов, И. И., Вохмин, В. С., Заграничная, А. Д., & Лукин, А. А. (2024). Влияние ультразвука на дрожжи-сахаромицеты. *Пиво и напитки*, 1, 28–32. <https://doi.org/10.52653/PIN.2024.01.04>
- Kaluzhina, O. Yu., Gusev, A. N., Bagautdinov, I. I., Vokhmin, V. S., Zagranichnaya, A. D., & Lukin, A. A. (2024). Assessment of the suitability of high-protein varieties of cereals for use in the production of fermented grain drinks. *Pivo i Napitki*, 1, 28–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PIN.2024.01.04>
- Кувшинова, О. А., & Репин, А. Д. (2019). Результаты осветления яблочного сока ультразвуком. *Инновации в сельском хозяйстве*, 2(31), 244–250.
- Kuvshinova, O. A., & Repin, A. D. (2019). Results of apple juice clarification with ultrasound. *Innovations in Agriculture*, 2(31), 244–250. (In Russ.)
- Макаров, Д. В., Моргунова, Н. Л., Рудик, Ф. Я., Фоменко, О. С., & Семилет, Н. А. (2023). Разработка установки для инактивации зерна сои ультразвуком. *Агропромышленные технологии Центральной России*, 3(29), 116–128. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-29-116-128>
- Makarov, D. V., Morgunova, N. L., Rudik, F. Ya., Fomenko, O. S., & Semilet, N. A. (2023). Development of a unit for soy grain inactivation by ultrasound. *Agro-Industrial Technologies of Central Russia*, 3(29), 116–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-29-116-128>
- Муханова, М. А., Якубова, О. С., Бекешева, А. А., & Айзатулина, Н. Р. (2021). Сравнительная характеристика камедей и перспективы их применения для загущения соусов. *Индустрия питания*, 6(3), 58–68. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7>
- Mukhanova, M. A., Yakubova, O. S., Bekesheva, A. A., & Aizatulina, N. R. (2021). Guar comparative characteristics and prospects of their use for sauces gelation. *Food Industry*, 6(3), 58–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7>
- Неповинных, Н. В., Петрова, О. Н., Белова, Н. М., & Еганехзад, С. (2019). Исследование физико-химических и текстурных свойств желированных десертов без желатина. *Техника и технология пищевых производств*, 49(1), 43–49. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-43-49>
- Nepovinnikh, N. V., Petrova, O. N., Belova, N. M., & Eganehzad, S. (2019). Physico-chemical and texture properties of gelatin-free jelly desserts. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(1), 43–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-43-49>
- Николаева, Ю. В., & Нечаева, А. В. (2023). Производство майонезного соуса на основе гуаровой камеди. *Молодой ученый*, 20(467), 128–130.
- Nikolaeva, Yu. V., & Nechaeva, A. V. (2023). Production of mayonnaise sauce based on guar gum. *Young Scientist*, 20(467), 128–130. (In Russ.)
- Нициевская, К. Н., Станкевич, С. В., & Бородай, Е. В. (2023). Влияние ультразвукового воздействия на свойства йота-каррагинана и гуаровой камеди. *Техника и технология пищевых производств*, 53(2), 357–367. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441>
- Nitsievskaya, K. N., Stankevich, S. V., & Boroday, E. V. (2023). Ultrasound treatment of iota-carrageenan and guar gum, 53(2), 357–367. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441>
- Пушкар, А. А., Штепа, В. Н., Кулаковская, В. И., & Соловьев, В. В. (2020). Способ снижения белковой нагрузки на пивное сусло путем применения процессов электрокоагуляции и ультразвука. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 4(50), 70–79. [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4\(50\)-70-79](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4(50)-70-79)
- Pushkar, A. A., Shtepa, V. N., Kulakovskaya, V. I., & Solovyev, V. V. (2020). Method of reducing protein load on beer wort by applying electrocoagulation and ultrasound processes. *Food Industry: Science and Technology*, 4(50), 70–79. (In Russ.) [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4\(50\)-70-79](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4(50)-70-79)
- Ситникова, П. Б. (2023). Исследование вязкости гуаровой камеди на разных этапах технологического процесса производства мороженого. Эффективное обеспечение научно-технического прогресса: исследование задач и поиск решений. *Сборник статей Международной научно-практической конференции*. Уфа: Аэтерна.
- Sitnikova, P. B. (2023). Study of the viscosity of guar gum at different stages of the technological process of ice cream production. Effective support of scientific and technical progress: Task research and solution search. In *Collection of articles of the international scientific and practical conference*. Ufa: Aeterna. (In Russ.)

- Слободскова, А. А., Семина, Е. С., Янгазитов, А. А., & Зинган, А. М. (2023). Применение ультразвука в сельском хозяйстве. *Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева*, 1(17), 90–95.
- Slobodskova, A. A., Semina, E. S., Yangazitov, A. A., & Zingan, A. M. (2023). Application of ultrasound in agriculture. *Herald of the Council of Young Scientists of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*, 1(17), 90–95. (In Russ.)
- Стремин, А. А., & Федоренко, Б. Н. (2023). Использование ультразвука для ускорения экстракции в пищевой промышленности. *Вестник науки*, 5(62), 725–730.
- Stremin, A. A., & Fedorenko, B. N. (2023). Use of ultrasound to accelerate extraction in the food industry. *Herald of Science*, 5(62), 725–730. (In Russ.)
- Цугленок, Н. В. (2019). Анализ эффективного использования электрофизических методов обработки семян. *Вопросы науки и образования*, 21(68), 46–59.
- Tsuglenok, N. V. (2019). Analysis of the effective use of electrophysical methods of seed processing. *Issues of Science and Education*, 21(68), 46–59. (In Russ.)
- Щербухин, В. Д., & Анулов, О. В. (1999). Галактоманнаны семян бобовых (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*, 35(3), 257–274.
- Shcherbuhin, V. D., & Anulov, O. V. (1999). Galactomannans of legume seeds (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 35(3), 257–274. (In Russ.)
- Ashokkumar, M., Sunartio, D., Kentish, S., Mawson, R., Simons, L. & Vilku, K., Versteeg, C. (2008). Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.05.005>
- Berninger, T., Dietz, N., & González López, Ó. (2021). Water-soluble polymers in agriculture: xanthan gum as eco-friendly alternative to synthetics. *Microbial Biotechnology*, 14(5), 1751–17915 <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13867>
- Carrillo-Lopez, L. M., Alarcon-Rojo, A. D., Luna-Rodriguez, L., & Reyes-Villagrana, R. (2017). Modification of food systems by ultrasound. *Hindawi Journal of Food Quality*, 5794931. <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Chudzikowski, R.J. (1971). Guar gum and its applications. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 22, 43–60.
- Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020) The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547>
- Hasan, A. M. A., & Abdel-Raouf, M. E. (2018). Applications of guar gum and its derivatives in petroleum industry: A review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1043–1050. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.03.005>
- Hosseini, M., Habibi, Najafi, M., & Mohebbi, M. (2014) Modification in the functional properties of sodium caseinate-based imitation cheese through use of whey protein and stabilizer. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 6, 1313–1324.
- John, I., Pola, J., & Appusamy, A. (2017). Optimization of ultrasonic assisted saccharification of sweet lime peel for bioethanol production using box — Behnken method. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 441–453. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0072-1>
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: Processing, properties and food applications — A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 409–418. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x>
- Pathak, R. (2015). Clusterbean gum and by-product. *Clusterbean: physiology, genetics and cultivation* (pp. 33–60). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-907-3-3>
- Rana, S., & Upadhyay, L.S.B. (2020). Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157(9), 577–583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084>
- Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., & Siddiqui, M. Z. (2016). Guar gum as a promising starting material for diverse applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001>