



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК664.8.036.72

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.004



ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Даниил Игоревич Болдинов¹, Елена Витальевна Аверьянова²,
Михаил Николаевич Зенин³, Елена Сергеевна Ананьева⁴

^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Россия

¹ daniilb99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9144-8278>

² averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

³ mikhail.zenin.96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3772-0987>

⁴ eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

Аннотация. В современных условиях перед пищевой промышленностью поставлены ряд задач, которые направлены, с одной стороны, на разработку, реализацию, вывод на рынок технологий качественных и безопасных отечественных продуктов питания, в том числе имеющих длительный срок хранения, а с другой стороны, – на сокращение объема образования, снижение класса опасности и максимальную утилизацию отходов, образующихся в больших количествах при переработке сырья. Решение этих задач могут обеспечить разработки в области новых видов упаковочных материалов, способных влиять на влагообмен продукта с окружающей средой, предотвращать доступ в продукты питания контаминантов, в том числе микроорганизмов, подавлять процессы их жизнедеятельности, иметь приемлемые структурно-механические характеристики и не оказывать негативного влияния на экологию при использовании и в процессе утилизации. Такая тенденция мотивирует производителей к расширению ассортимента и увеличению объемов производства биоразлагаемых упаковочных материалов на основе природных полимеров, например, гетерополисахарида пектина, что предопределило цель исследования – изучение свойств тонких пленок, изготовленных из яблочного пектина, модифицированного в условиях ультразвукового воздействия. Объектами исследования являлись экспериментальные образцы пектиновой пленки, изготовленные из нативного и модифицированного яблочного пектина. В процессе работы стандартными методами определены основные органолептические и структурно-механические характеристики тонких пленок и построены предиктивные модели, позволяющие прогнозировать свойства, в том числе функциональные, пленочного материала в зависимости от условий ультразвукового воздействия. В эксперименте подтверждена возможность модификации пектина в условиях контролируемого ультразвукового воздействия, что особенно актуально для создания новых биополимерных материалов с улучшенными характеристиками, в том числе в производстве упаковочных покрытий и пленок для использования в пищевой и смежных отраслях промышленности.

Ключевые слова: яблочный пектин, модификация, ультразвуковое воздействие, оптимизация, упаковочный материал, биоразлагаемые пленки, органолептические свойства, структурно-механические свойства.

Благодарности: авторы благодарят за финансовую поддержку Минобрнауки РФ (ГЗ № 075-03-2024-105, тема № FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).

Для цитирования: Болдинов Д. И., Аверьянова Е. В., Зенин М. Н., Ананьева Е. С. Оптимизация условий модификации пектиновых веществ в технологии упаковочного материала // Ползуновский вестник. 2025. № 2, С. 27–33. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.004. EDN: <https://elibrary.ru/NIVAOO>.

Original article

OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR MODIFICATION OF PECTIN SUBSTANCES IN PACKAGING MATERIAL TECHNOLOGY

Daniil I. Boldinov¹, Elena V. Averyanova², Mikhail N. Zenin³, Elena S. Anan'eva⁴

^{1,2,3,4} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ daniilb99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9144-8278>

² averianova.ev@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

³ mikhail.zenin.96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3772-0987>

⁴ eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

© Болдинов Д. И., Аверьянова Е. В., Зенин М. Н., Ананьева Е. С., 2025

Abstract. In modern conditions, the technological industry is faced with a number of tasks that are aimed, on the one hand, at developing, implementing, bringing to market technologies for high-quality and safe domestic food products, including determining a long shelf life, and on the other hand, calculating the volume. Formation, level of danger and danger of disposal of waste generated in large volumes during processing of raw materials. The solution to these problems can ensure the development of new types of packaging materials that can affect the moisture exchange of products, taking into account possible consequences, prevent access to food products, pollutants, including sales, limit their life processes, provide acceptable structural and mechanical characteristics and not use negative methods. on the environment during use and disposal. This trend motivates manufacturers to expand the range and increase the production volumes of biodegradable packaging materials based on natural polymers, for example, heteropolysaccharide pectin, which predetermined the purpose of the study - to study the properties of thin films made of apple pectin modified under ultrasonic exposure. The objects of the study are experimental creations of pectin film made from native and modified apple pectin. In the process of work, standard methods can achieve organoleptic and structural-mechanical characteristics of thin films and constructions of predictive models that allow predicting the properties, including the main ones, of the film material depending on the conditions of ultrasonic exposure. In the conditions of the ex-experiment, the possibility of modifying pectin under controlled ultrasonic exposure was confirmed, which is especially important for the creation of new biopolymer materials with improved characteristics, including in the production of packaging materials and films for use in the food and related industries.

Keywords: apple pectin, modification, ultrasound treatment, optimization, packaging material, biodegradable films, organoleptic properties, structural and mechanical properties.

Acknowledgements: the authors thank the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for financial support (State Contract No. 075-03-2024-105, topic No. FZMM-2024-0003, reg. No. R&D 124013000666-5).

For citation: Boldinov, D.I., Averyanova, E.V., Zenin, M.N. & Anan'eva, E.S. (2025). Optimization of conditions for modification of pectin substances in packaging material technology. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 27-33. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.02.004. EDN: <https://elibrary.ru/NIVAOO>.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевой задачей Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации является обеспечение физической и экономической доступности ассортимента качественной и безопасной пищевой продукции, необходимой для формирования рациона здорового питания граждан страны [1]. Решение этой задачи невозможно без разработки технологий отечественных продуктов питания, имеющих длительный срок хранения, который могут обеспечить упаковочные материалы, способные влиять на влагообмен продукта с окружающей средой, предотвращать доступ в продукты питания загрязнителей, в том числе микроорганизмов и подавлять процессы их жизнедеятельности.

Расширение ассортимента полуфабрикатов, рост объема рынка фастфуда, современный темп жизни способствуют изменению предпочтений потребителей при выборе продуктов питания: всё больше покупателей отдают предпочтение упакованным товарам, что обусловлено удобством, длительным сроком хранения и защитой от внешних воздействий. Такая тенденция мотивирует производителей к расширению ассортимента и увеличению объемов производства упаковки [2]. В то же время современные реалии таковы, что при разработке упаковочных материалов следует учитывать не только их потребительские свойства, но и степень влияния отходов такой упаковки на окружающую среду.

В мировом масштабе рост отходов пластика – основы большинства упаковочных материалов – в 2023 году составил 430 млн тонн [3], при этом с каждым годом увеличивается доля отходов пластика в объеме твердых коммунальных отходов (рисунок 1).

Сокращение образования, снижение класса опасности и максимальная утилизация отходов – приоритетное направление государственной политики в области обращения с отходами [5]. Для ре-

шения вышеперечисленных задач требуется разработка новых видов биоразлагаемой упаковки. Сырьем для такого вида упаковочных материалов являются, в том числе биополимеры: белки, полисахариды и липиды (рисунок 2).

Одним из наиболее распространенных биополимеров углеводной природы являются пектиновые вещества первичной клеточной стенки и межклеточных образований растений.

Благодаря своей доступности, биосовместимости и способности к полимеризации ряд авторов рассматривает пектин как перспективный пленкообразующий материал для упаковки пищевых продуктов [7–9].

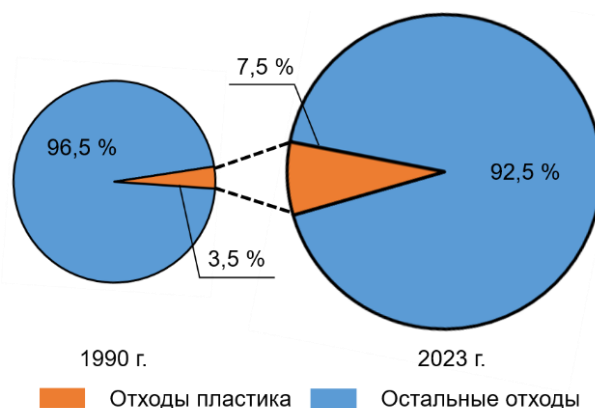


Рисунок 1 – Доля пластика в объеме твердых коммунальных отходов [4]

Figure 1 – The share of plastic in the volume of municipal solid waste [4]

Так, известно, что упаковочные материалы на основе пектиновых веществ обладают антибактериальными, антиоксидантными и барьерными свойствами, пролонгируют срок хранения продуктов питания [7, 10], а сорбционные свойства и ком-

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА

плексообразующая способность пектина позволяют отнести его к природным детоксикантам, ад-

сорбирующим тяжелые металлы и радионуклиды в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) [11–13].



Рисунок 2 – Сырье для изготовления биоразлагаемых покрытий и пленок [6]

Figure 2 – Raw materials for the production of biodegradable coatings and films [6]

Физико-химические характеристики и функциональные свойства пектина обусловлены его молекулярной структурой, а именно наличием гидроксильных групп, гликозидных связей, свободных и связанных (этерифицированных) карбоксильных групп (рисунок 3).

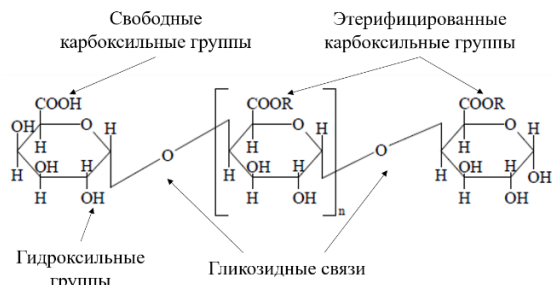


Рисунок 3 – Химическое строение пектиновых веществ

Figure 3 – Chemical structure of pectin substances

Модификация химической структуры молекулы пектина приводит к изменению его свойств: увеличивает гидрофильность, реологические и сорбционные характеристики, что, в свою очередь, влияет на функциональные свойства пектина. Например, доказано, что электрокоагуляция [14], микроволновое излучение [15] и ультразвуковое воздействие (УЗВ) [16] способствуют разрушению гликозидных связей и деполимеризации, что, вероятно, увеличивает антиоксидантную активность пектина [17].

Таким образом, возможность направленной модификации молекулы пектина позволяет прогнозировать его основные характеристики и сформулировать цель исследования как изучение свойств тонких пленок, изготовленных из яблочного пектина, модифицированного в условиях ультразвукового воздействия.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись 9 экспериментальных образцов пектиновой пленки, изготовленных из яблочного пектина производства «Yantai Andre Pectin Co» (Китай).

Для получения пленок готовили 3%-ный раствор пектина в дистиллированной воде, который подвергали воздействию ультразвуковых волн, создаваемых излучателем аппарата серии «ВОЛНА» (модель УЗТА-0,4/22-ОМ, ООО «Центр ультразвуковых технологий», г. Бийск) в условиях табл. 1, при температуре процесса не более 60 °С.

В полученные растворы вносили глицерин (2 % от общего объема) и перемешивали до гомогенности. Пленки получали высушиванием пектинового геля, распределенного по кюветам диаметром 245 мм наливным методом. Высота слоя $3,0 \pm 0,1$ мм. Высушивание пленок проводили в сушильном шкафу ШС-40М при температуре 50 ± 1 °С в течение 1,5 часов.

Таблица 1 – Условия получения экспериментальных образцов пектиновой пленки

Table 1 – Conditions for obtaining experimental samples of pectin film

№ опыта	Интенсивность УЗ, Вт/см ²	Продолжительность УЗВ, мин
Контрольный образец	0	0
1	16,9	5
2		10
3		15
4		5
5	12,6	10
6		15
7		5
8	8,3	10
9		15

Молекулярную массу экспериментальных образцов пектина рассчитывали по уравнению Марка-Хаувинка-Куна [18], на основании вязкости растворов, определенной при помощи вискозиметра Оствальда по [18].

Толщину пленок пектина определяли при помощи микрометра МК-25 не менее, чем в 10 точках по всей площади пленок по ГОСТ 17035-86 Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов.

Структурно-механические свойства пленок определяли стандартными реологическими методами по ГОСТ 14236-81 Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение на разрывной машине Instron 3369.

Исследования проводились в трехкратной повторности, результаты обработаны в программе «Statistica 10.0».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлены результаты определения основных характеристик экспериментальных образцов пектина как высокомолекулярного соединения – молекулярной массы и степени полимеризации.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что наименьшее значение молекулярной массы 31,1 кДа достигается при УЗВ с наибольшей интенсивностью 16,9 Вт/см² и наибольшей продолжительностью 15 минут, что подтверждает влияние УЗВ на разрыв гликозидных связей в молекулах пектина.

На основе экспериментальных данных получена математическая модель влияния мощности и продолжительности УЗВ на молекулярную массу, выраженная в виде поверхности отклика (рисунок 5, а).

Анализ поверхности отклика свидетельствует о том, что значение молекулярной массы пектина зависит в большей степени от продолжительности

УЗВ, чем от интенсивности. Возможно, это связано с тем, что за более продолжительное время УЗВ образуется большее количество кавитационных пузырьков, при схлопывании которых происходит деполимеризация пектина.

Таблица 2 – Молекулярная масса и степень полимеризации экспериментальных образцов пектина, $M \pm m$, $n=3$

Table 2 – Molecular weight and degree of polymerization of experimental pectin samples, $M \pm m$, $n=3$

№ опыта	Молекулярная масса, кДа	Средняя степень полимеризации
Контрольный образец	44,8±0,7	255±3
1	38,7±0,5	220±2
2	34,8±0,5	198±2
3	31,1±0,6	177±3
4	37,2±0,7	211±3
5	34,9±0,8	198±4
6	33,3±0,6	189±3
7	36,0±0,5	205±2
8	35,8±0,7	203±3
9	35,8±0,5	203±2

Фотографии полученных образцов пектиновых пленок представлены на рисунке 4.

Все образцы пленочного материала гладкие, пластичные, не липнут к рукам, легко сворачиваются в рулон. Цвет бежевый, характерный для используемого пектина, запах отсутствует. Пленки обладают адгезией к гидрофильным поверхностям. Внешний вид пленок имеет незначительные отличия. Так, у образцов № 2, № 6 и № 9 наблюдаются более темные и плотные участки по краям пленок, что, возможно, связано с неравномерным изменением вязкости растворов по объему реактора при УЗВ.

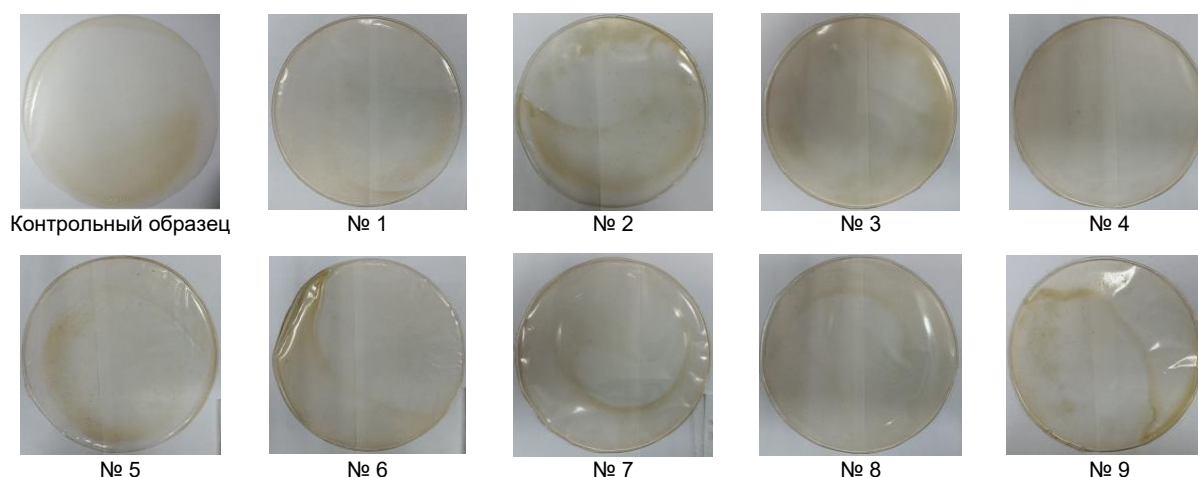


Рисунок 4 – Внешний вид экспериментальных образцов пектиновых пленок (фотографии)

Figure 4 – Experimental samples of pectin film

Таблица 3 – Структурно-механические свойства пектиновых пленок, $M \pm m$, $n=3$

Table 3 – Structural and mechanical properties of pectin films, $M \pm m$, $n=3$

№ образца	Толщина пленки, мм	Относительное удлинение, %	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости, МПа
1	2	3	4	5
Контрольный	0,110±0,01	41,52±4,47	3,12±0,20	7,11±0,49
1	0,106±0,01	42,82±5,02	3,05±0,27	7,20±0,59

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5
2	0,079±0,02	45,62±4,84	3,68±0,24	8,44±0,52
3	0,096±0,02	39,67±5,33	3,50±0,26	8,82±0,61
4	0,150±0,01	47,26±5,03	2,97±0,34	6,27±0,56
5	0,098±0,01	50,68±6,05	2,93±0,26	5,77±0,63
6	0,122±0,02	43,35±5,49	3,46±0,36	5,38±0,61
7	0,132±0,02	60,55±4,42	4,51±0,29	5,65±0,51
8	0,107±0,02	39,46±5,56	3,46±0,26	8,24±0,63
9	0,093±0,02	34,20±4,74	2,19±0,26	8,28±0,53

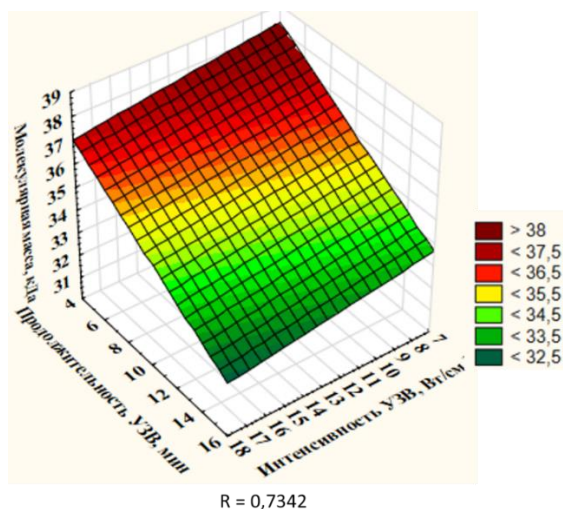
Механическая прочность полимерных пленок зависит от структурных особенностей макромокул: степени полимеризации, наличия сложноэфирных и водородных связей, гидрофобных взаимодействий и т.п. В связи с этим на следующем этапе исследовались структурно-механические

$$z = 40,6381 - 0,1145 \cdot x - 0,3895 \cdot y \quad (1)$$

свойства образцов пленочного материала с разной степенью деполимеризации пектина. Результаты исследования представлены в табл. 3.

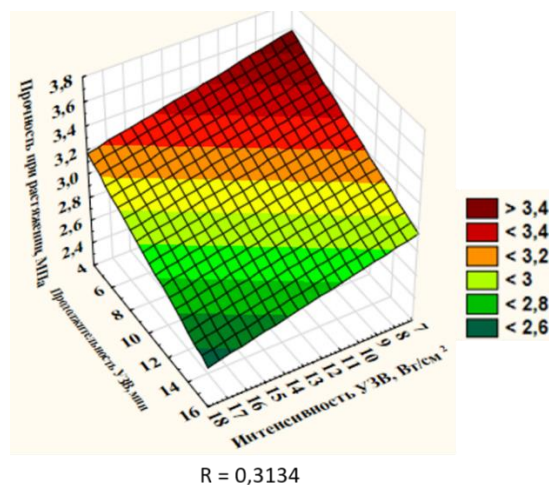
По данным таблицы 3 проведен регрессионный анализ, в результате которого построены поверхности отклика (рисунок 5) и уравнения регрессии (2–4).

$$z = 4,0419 - 0,0366 \cdot x - 0,0523 \cdot y \quad (3)$$



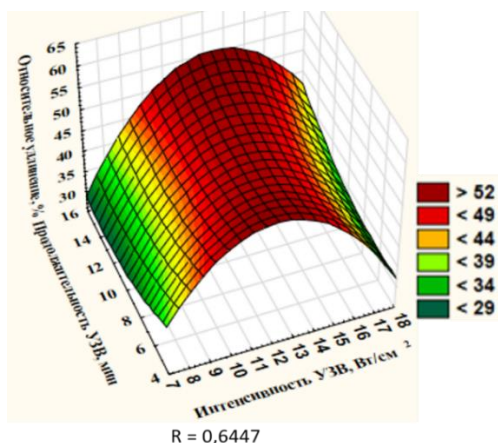
а) зависимость молекулярной массы пектина от интенсивности и продолжительности УЗВ

$$z = -28,4321 + 15,172 \cdot x - 3,5597 \cdot y - 0,6478 \cdot x^2 + 0,139 \cdot x \cdot y + 0,0944 \cdot y^2 \quad (2)$$

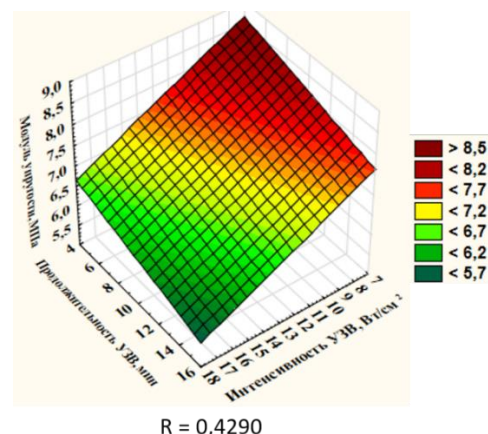


в) зависимость прочности при растяжении пленки от интенсивности и продолжительности УЗВ

$$z = 10,2816 - 0,1829 \cdot x - 0,0862 \cdot y \quad (4)$$



б) зависимость относительного удлинения пленки от интенсивности и продолжительности УЗВ



г) зависимость модуля упругости пленки от мощности и продолжительности УЗВ

Рисунок 5 – Зависимость молекулярной массы пектина и структурно-механических свойств пленки от режимов УЗВ

Figure 5 – Dependence of the molecular weight of pectin and structural-mechanical properties of the film on the ultrasound modes

Согласно полученным данным (табл. 3) и результатам регрессионного анализа (рисунок 5), можно сделать следующие выводы:

- наибольшее относительное удлинение 60,55 % и прочность при растяжении пленки 4,51 МПа наблюдается при интенсивности УЗВ 8,3 Вт/см² и продолжительности УЗВ 5 минут;
- наибольшие значения модуля упругости пленки 8,24–8,82 МПа достигаются при продолжительности УЗВ 10–15 минут интенсивностью 16,9 и 8,3 Вт/см².

Из вышеизложенного следует, что при модификации пектиновых веществ ультразвуковыми колебаниями, исследованными при различных режимах УЗВ, тонкие пленки имеют разные структурно-механические характеристики, что позволяет получать упаковочный материал с заданными свойствами, варьируя параметры ультразвукового воздействия.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Установлено, что ультразвуковое воздействие на растворы пектина приводит к деполимеризации молекулы; степень деполимеризации зависит от мощности и продолжительности УЗВ; наиболее интенсивно при воздействии ультразвуковыми волнами интенсивностью 16,9 Вт/см² в течение 15 минут;
2. Разработана предиктивная модель зависимости молекулярной массы пектина от условий УЗВ, позволяющая прогнозировать свойства пектиновых гелей, в том числе функциональные.
3. Определены структурно-механические свойства экспериментальных образцов пектиновых пленок и установлена их зависимость от условий УЗВ, наиболее прочные пленки получены при ультразвуковом воздействии интенсивностью 8,3 Вт/см² продолжительностью 5 минут и 16,9 Вт/см² продолжительностью 10 минут.

Таким образом, в условиях эксперимента подтверждена возможность модификации пектина в условиях контролируемого ультразвукового воздействия, что особенно актуально для создания новых биополимеров с улучшенными характеристиками, в том числе в производстве упаковочных материалов и пленок для использования в пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 // Собр. законодательства РФ. 2020. № 4. ст. 345.
2. PLASTINFO: [сайт]. URL: https://plastinfo.ru/information/news/52747_01.02.2024/ (дата обращения: 03.09.2024).
3. Statista: [сайт]. URL: <https://www.statista.com/chart/32385/global-plastic-waste-production-by-application/> (дата обращения: 05.09.2024).
4. ИМЭМО РАН: [сайт]. URL: <https://www.imemo.ru/publications/policy-briefs/text/the-international-community-is-determined-to-get-rid-of-plastic-waste> (дата обращения: 05.09.2024). Текст: электронный.
5. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ // Собр. законодательства РФ. 1998. № 26. ст. 3009.

6. Nair, Surya Sasikuma Edible packaging: a technological update for the sustainable future of the food industry / Surya Sasikuma Nair, Joanna Trafialek, Wojciech Kolanowski // Applied Sciences. 2023. № 13. P. 56–79.

7. Pectin-based active packaging: A critical review on preparation, physical properties and novel application in food preservation / Jiayin Huang, Zhiheng Hu, Lingping Hu [et al] // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 118, Part A. P. 167–178.

8. Исследование структуры и свойств пищевых биоактивных пленок на основе пектина / О.В. Зинина, С.П. Меренкова, Е.А. Вишнякова, Д.М. Галимов // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1(202). С. 201–207.

9. Advanced pectin-based films: Enhancing antioxidant, antibacterial, UV barrier, and physicochemical properties upon oligomeric limonene derivative incorporation / Jesús Vanzella Santana, Luís Marangoni Júnior, Geodriane Zatta Cassol [et al] // Food Hydrocolloids. 2024. Vol. 149. P. 187–195.

10. Taotao, Qiang Biodegradable, high mechanical strength, and eco-friendly pectin-based plastic film, Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review / Taotao Qiang, Wenqi Ren, Liang Chen // Food Hydrocolloids. 2023. № 149(1). P. 349–358.

11. Адыгезалова, С.Г. Основные функциональные свойства пектиновых полисахаридов в овощном сырье / С.Г. Адыгезалова // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8, № 5. С. 218–223.

12. Исследование свойств пребиотико-сорбционной композиции на основе яблочных выжимок / Е.И. Рябинина, Е.Е. Зотова, Т.Н. Никитина, С.В. Рябинин // Прикладные информационные аспекты медицины. 2023. Т. 26, № 3. С. 92–98.

13. Тунакова, Ю.А. Исследование эффективности биополимерных сорбентов на основе пектина для выведения избыточного содержания металлов из организма / Ю.А. Тунакова, Р.А. Файзуллина, Ю.А. Шмакова // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 12. С. 71–73.

14. Химическое модифицирование пектина с целью повышения его сорбционных свойств / Л.А. Купчик, Н.Т. Картель, Е.С. Богданов [и др.] // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. № 3. С. 464–467.

15. Получение и реологические свойства пектина, выделенного с использованием сверхвысокочастотного излучения / Л.Б. Азимова, А.В. Филатова, М.Ю. Мухамеджанова, А.С. Тураев // Химия растительного сырья. 2023. № 1. С. 77–86.

16. Citrus pectin modified by microfluidization and ultrasonication: Improved emulsifying and encapsulation properties / Wenjun Wang, Yiming Feng, Weijun Chen [et al] // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 70. P. 170–179.

17. Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin / Lifan Zhang, Xinqian Ye, Tian Ding // Ultrasonics Sonochemistry. 2013. Vol. 20, № 1. P. 222–231.

18. Аверьянова, Е.В. Изучение свойств пектина, полученного из вторичных сырьевых ресурсов ягодного сырья алтайского края / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников, И.А. Чаплыгина // Вестник КрасГАУ. 2016. № 12 (123). С. 118–127.

Информация об авторах

Д. И. Болдинов – стажер-исследователь ЦКИ «АлтайБиоЛакт», аспирант кафедры технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Е. В. Аверьянова – ведущий научный сотрудник ЦКИ «АлтайБиоЛакт», д-р техн. наук, профессор кафедры биотехнологии Бийского ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2025

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ МОДИФИКАЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В ТЕХНОЛОГИИ УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА

технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

М. Н. Зенин – аспирант кафедры современных специальных материалов ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Е. С. Ананьева – канд. техн. наук, доцент кафедры современных специальных материалов ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Ukaz Presidenta Rossijskoj Federacii of 21 January 2020 h. N 20 "On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation". Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
2. PLASTINFO. (2024). Retrieved from https://plastinfo.ru/information/news/52747_01.02.2024/ (In Russ.).
3. Statista. (2023). Retrieved from <https://www.statista.com/chart/32385/global-plastic-waste-production-by-application/> (In Russ.).
4. IMEMO. (2023). Retrieved from <https://www.imemo.ru/publications/policy-briefs/text/the-international-community-is-determined-to-get-rid-of-plastic-waste>. (In Russ.).
5. Federalnyj zakon Rossijskoj Federacii of 24 June 1998 h. N 89-FZ "On production and consumption waste". (1998). Moscow: Standarts Publishing House. (In Russ.).
6. Surya Sasikuma Nair, Joanna Trafialek & Wojciech Kolanowski. (2023). Edible packaging: a technological update for the sustainable future of the food industry. *Applied Sciences*, (13), 56-79. (In Russ.). doi: 10.3390/app13148234.
7. Jiayin Huang, Zhiheng Hu, Lingping Hu, Gaoshang Li, Qian Yao & Yaqin Hu. (2021). Pectin-based active packaging: A critical review on preparation, physical properties and novel application in food preservation. *Trends in Food Science & Technology*, (Part A), 167-178. doi: 10.1016/j.tifs.2021.09.026.
8. Zinina, O.V., Merenkova, E.A., Vishnyakova, S.P. & Galimov, D.M. (2024). Study of the structure and properties of food bioactive films based on pectin. *KrasSAU Bulletin*, 201-207. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2024-1-201-207.
9. Jessé Vanzella Santana, Luís Marangoni Júnior, Geodriane Zatta Cassol, Hélia Harumi Sato & Roniérík Pioli Vieira. (2024). Advanced pectin-based films: Enhancing antioxidant, antibacterial, UV barrier, and physicochemical properties upon oligomeric limonene derivative incorporation. *Food Hydrocolloids*, (Vol. 149), 187-195. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109558.
10. Taotao Qiang, Wenqi Ren & Liang Chen. (2023). Biodegradable, high mechanical strength, and eco-friendly pectin-based plastic film, Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, (149(1)), 349-358. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109539.

11. Adygezalova, S.G. (2022). Main functional properties of pectin polysaccharides in vegetable raw materials. *Bulletin of Science and Practice*, 218-223. (In Russ.). doi: 10.33619/2414-2948/78/30.

12. Ryabinina, E.I., Zotova, E.E., Nikitina T.N. & Ryabinin, S.V. (2023). Study of the properties of a prebiotic-sorption composition based on apple pomace. *Applied information aspects of medicine*, (3), 92-98. (In Russ.). doi: 10.18499/2070-9277-2023-26-3-92-98.

13. Tunakova, Yu.A., Fayzullina, R.A. & Shmakova, Yu.A. (2012). Study of the effectiveness of biopolymer sorbents based on pectin for removing excess metals from the body. *Bulletin of Kazan Technological University*, (12), 71-73. (In Russ.).

14. Kupchik, L.A., Kartel, N.T., Bogdanov, E.S., Bogdanova, O.V. & Kupchik, M.P. (2006). Chemical modification of pectin to improve its sorption properties. *Journal of Applied Chemistry*, (3), 464-467. (In Russ.).

15. Azimova, L.B., Filatova, A.V., Mukhamedzhanova, M.Yu. & Turaev, A.S. (2023). Obtaining and rheological properties of pectin isolated using microwave radiation. *Chemistry of plant materials*, (1), 77-86. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.20230111066.

16. Wenjun Wang, Yiming Feng, Weijun Chen, Kyle Adie, Donghong Liu & Yun Yin. (2021). Citrus pectin modified by microfluidization and ultrasonication: Improved emulsifying and encapsulation properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 170-179. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105322.

17. Lifan Zhang, Xinqian Ye, Tian Ding, Xiaoyang Sun, Yuting Xu & Donghong Liu. (2013). Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, (1), 222-231. doi: 10.1016/j.ultsonch.2012.07.021.

18. Averyanova, E.V., Shkolnikova, M.N. & Chaplygina, I.A. (2016). Study of the properties of pectin obtained from secondary raw materials of berry raw materials of the Altai region. *KrasSAU Bulletin*, (12), 118-127. (In Russ.).

Information about the authors

D.I. Boldinov - research intern at the Complex Research Center «AltaiBioLact», postgraduate student of the Department of Food Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

E.V. Averianova - leading researcher at the Complex Research Center «AltaiBioLact» D.Sc., Professor of the Department of Biotechnology of the Biysk Technological Institute (branch) of the Polzunov Altai State Technical University.

M.N. Zenin - postgraduate student of the Department of Modern Special Materials of the Polzunov Altai State Technical University.

E.S. Ananyeva - Cand. Sci., Associate Professor of the Department of Modern Special Materials of the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2024; одобрена после рецензирования 20 мая 2025; принята к публикации 26 мая 2025.

The article was received by the editorial board on 30 Sep 2024; approved after editing on 20 May 2025; accepted for publication on 26 May 2025.