

Гузеева Анастасия Вадимовна,

студент, 4 курс, кафедры «Промышленный дизайн, технология упаковки и экспертиза», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),

РФ, г. Москва

Губанова Марина Ивановна,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленный дизайн, технология упаковки и экспертиза», Российский биотехнологический

университет (РОСБИОТЕХ), РФ, г. Москва

Сивцева Карина Витальевна,

аспирант, 2 курс, кафедры «Промышленный дизайн, технология упаковки и экспертиза», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),

РФ, г. Москва

ВЛИЯНИЕ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ НА БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА БИОПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КОЛЛАГЕНА

Аннотация: статья посвящена исследованию влияния ксантановой камеди, а также функциональных добавок — альгината натрия и мёда — на паропроницаемость биоразлагаемых покрытий на основе коллагена. Установлено, что добавление ксантановой камеди позволяет варьировать барьерные свойства плёнок, формируя структуру с регулируемой плотностью. Использование мёда способствует снижению скорости передачи водяного пара за счёт его влагоудерживающих и структурообразующих свойств. Полученные данные подтверждают высокую эффективность многофункциональной модификации коллагеновых покрытий и их потенциал для создания экологичной упаковки продуктов питания с различными требованиями к влагозащите.

Abstract: this article is devoted to the study of the effect of xanthan gum, as well as functional additives — sodium alginate and honey — on the water vapor permeability of biodegradable collagen-based coatings. It was found that the addition of xanthan gum allows for the modulation of the barrier properties of the films by forming a structure with adjustable density. The use of honey contributes to the

reduction of water vapor transmission due to its moisture-retaining and structuring properties. The obtained data confirm the high efficiency of multifunctional modification of collagen coatings and their potential for the development of eco-friendly food packaging with various moisture protection requirements.

Ключевые слова: биополимеры, ксантановая камедь, коллаген, альгинат натрия, мёд, пищевая упаковка, паропроницаемость, барьерные свойства.

Keywords: biopolymers, xanthan gum, collagen, sodium alginate, honey, food packaging, water vapor permeability, barrier properties

Создание экологичных упаковочных материалов из возобновляемого сырья остаётся ключевой задачей для пищевой отрасли. Современные принципы устойчивого развития ориентируют производство на отказ от синтетических полимеров в пользу биоразлагаемых и функциональных альтернатив. Биополимеры природного происхождения демонстрируют высокую экологическую совместимость и способность к полному разложению без вреда для окружающей среды [1, с. 10].

Коллаген, один из таких биополимеров, широко применяется в пищевых и медицинских технологиях благодаря способности формировать тонкие прозрачные плёнки. Однако его склонность к поглощению влаги и недостаточная барьерная эффективность по отношению к водяному пару существенно ограничивают сферу применения [2, с. 1091]. Повышенная паропроницаемость может способствовать ускоренной порче продуктов с высоким содержанием влаги [3, с. 250].

С целью минимизации этих недостатков были проведены исследования, направленные на модификацию коллагеновых покрытий добавками, совместимыми с пищевыми продуктами. Перспективным модификатором является ксантановая камедь — микробиальный полисахарид, обладающий высокой вязкостью даже при низких концентрациях и устойчивостью к широкому диапазону температур и значений pH [4, с. 968]. В условиях

коллагеновой системы ксантан формирует структурированную полисахаридную сеть, способную ограничивать диффузию водяного пара [5, с. 53]. Введение ксантановой камеди позволило снизить паропроницаемость и коэффициент паропроницаемости биополимерных плёнок за счёт уплотнения их структуры.

В одной из исследовательских работ альгинат натрия использовали как дополнительный структурообразующий компонент, добавление которого способствует формированию более прочной и менее проницаемой матрицы [6], за счёт его способности к ионному гелеобразованию, особенно в присутствии катионов кальция [7, с. 72]. В другой работе мёд добавлялся как природный пластификатор и функциональный ингредиент с антимикробными свойствами, способствующий улучшению гибкости покрытия и повышению его биологической активности [8], [9, с. 20].

В качестве объектов исследования использовались следующие материалы: гидролизированный коллаген говяжьего происхождения производства компании «СТОИНГ» (Турция) и ксантановая камедь пищевого качества той же торговой марки, поставляемая из Китая. Ксантан вводили в раствор коллагена в концентрациях 0,3%, 0,4% и 5% по массе. В отдельных вариантах композиций также применялись натриевый альгинат (СТОИНГ, Турция) и гречишный мёд отечественного происхождения. Приготовленные смеси подвергали ультразвуковой гомогенизации (30 кГц, 90 Вт), после чего разливали по формам и высушивали при температуре 25 °С. Для оценки способности покрытий пропускать водяной пар использовалась установка C360 Water Vapor Transmission Rate Test System производства LABTHINK INSTRUMENTS CO., LTD. Испытания проводились в соответствии с международным стандартом ISO 2528:2017 «Пластмассы — Метод определения водяного паропроницаемости».

В ходе эксперимента были исследованы паропроницаемость (WVTR) и коэффициент паропроницаемости (WVP) биоразлагаемых плёнок на основе коллагена с добавлением различной концентрации ксантановой камеди (Композиции №2-9). Полученные данные сопоставлены с контрольным

образцом, не содержащим ксантановую камедь (Композиция №1), составы композиций представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав композиций

| | Состав композиции |
|----|---|
| №1 | Коллаген без добавления камеди |
| №2 | Коллаген + 0,3% камедь |
| №3 | Коллаген + 0,4% камедь |
| №4 | Коллаген + 0,5% камедь |
| №5 | Коллаген + 0,4% камедь + 1% альгинат натрия |
| №6 | Коллаген + 0,4% камедь + 1% альгинат натрия + мёд |
| №7 | Коллаген + 0,4% камедь + мёд |
| №8 | Коллаген + 0,5% камедь + мёд |
| №9 | Коллаген + 0,3% камедь + мёд |

На рисунках 1–2 представлены экспериментальные данные по паропроницаемости пленок на основе составов вышеуказанных композиций.

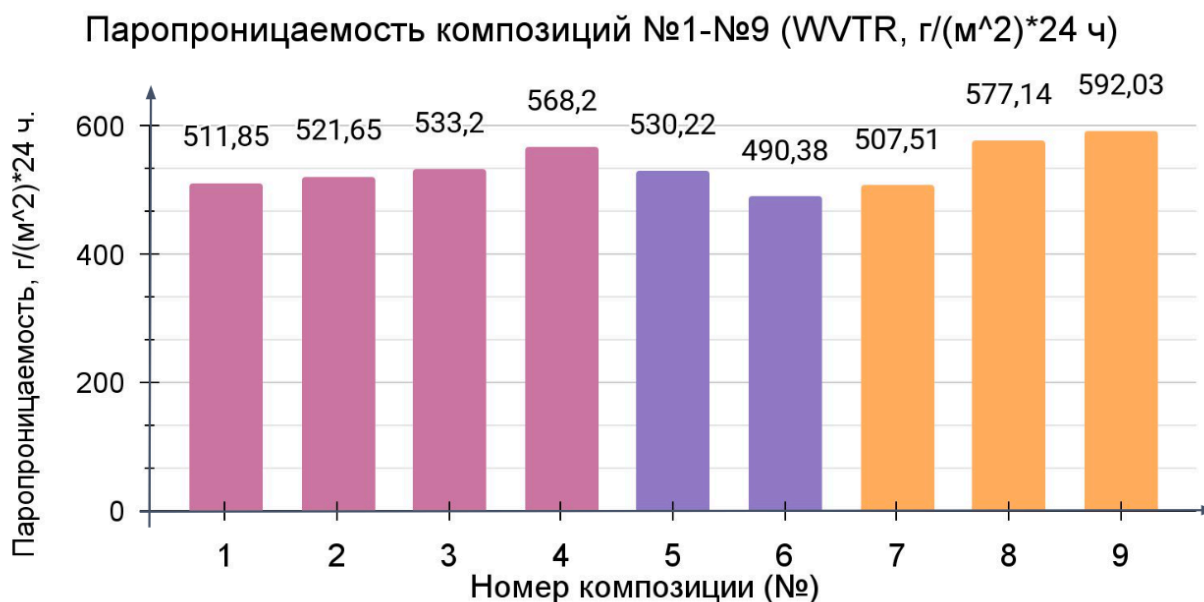


Рисунок 1 – Сравнительная диаграмма изменения паропроницаемости биополимерных пленок на основе коллагена в зависимости от концентрации ксантановой камеди в композиции

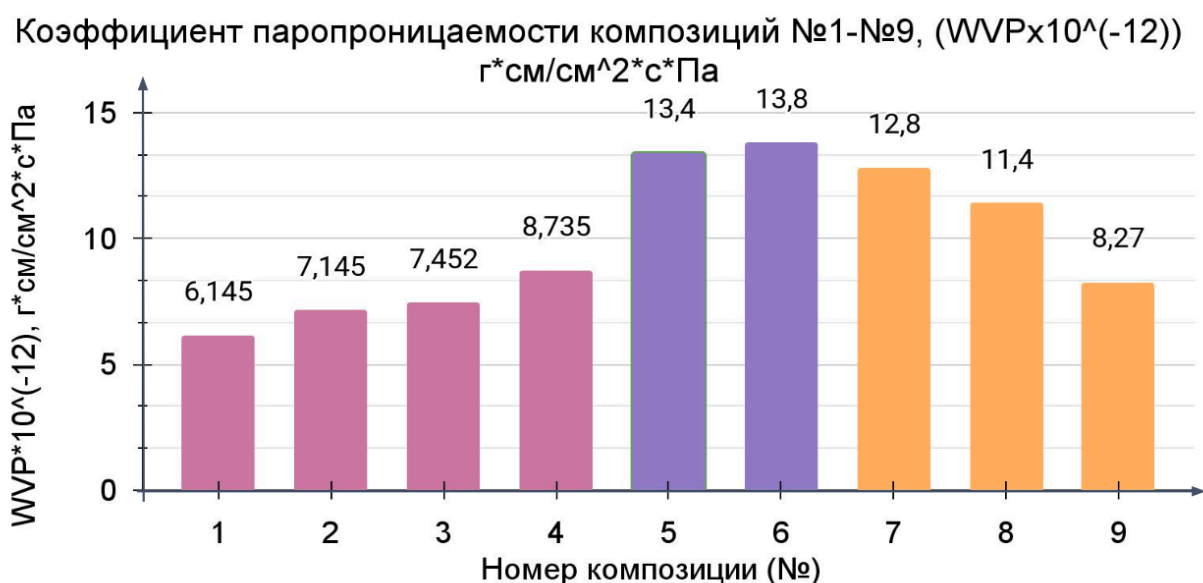


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма изменения коэффициента паропроницаемости биополимерных пленок на основе коллагена в зависимости от концентрации ксантановой камеди в композиции

На диаграммах, представленных рисунках 1 и 2 прослеживаются чёткие закономерности влияния концентрации ксантановой камеди, а также добавления альгината натрия и мёда на барьерные свойства биополимерных покрытий. Повышение концентрации ксантановой камеди от 0,3% до 0,5% (Композиции №2–4) сопровождалось увеличением как паропроницаемости ($WVTR$), так и коэффициента паропроницаемости (WVP). Это объясняется гидрофильной природой ксантановой камеди, которая способствует удержанию влаги и формированию менее плотной, пористой структуры, облегчающей диффузию водяного пара. Дополнительный рост значений может быть обусловлен введением глицерина, снижающего плотность упаковки полимерных цепей и повышающего подвижность молекул воды. Наименьшая проницаемость зафиксирована у контрольного образца с более плотной и однородной структурой. Наиболее сбалансированные характеристики среди модифицированных плёнок отмечены у Композиции №2 содержащей 0,3% камеди.

При анализе Композиций №5 и №6, содержащих по 0,4% ксантановой камеди и 1% альгината натрия, но отличающихся наличием мёда во втором случае, несмотря на относительно схожие значения коэффициента паропроницаемости (WVP), в Композиции №6 зафиксировано заметное снижение скорости передачи водяного пара (WVTR) по сравнению с Композицией №5.

Увеличение коэффициента паропроницаемости WVP при одновременном уменьшении паропроницаемости WVTR может быть связано с тем, что мёд, обладая вязкой консистенцией и способностью к водосвязыванию, способствует уменьшению потока пара через плёнку, создавая более однородную барьерную структуру. При этом рост коэффициента паропроницаемости WVP может отражать локальные изменения в микроструктуре покрытия из-за присутствия низкомолекулярных компонентов мёда, повышающих проницаемость на молекулярном уровне.

Таким образом, Композиция №6 демонстрирует более эффективное ограничение переноса влаги в реальных условиях, несмотря на чуть более высокий расчётный коэффициент диффузии.

Анализ Композиций №7–9, также содержащих мёд, но с различной концентрацией ксантановой камеди (от 0,3% до 0,5%), позволил установить, характеристики паропроницаемости варьируются в зависимости от содержания функциональной добавки – камеди. С повышением концентрации ксантановой камеди от 0,3% (Композиция №9) до 0,5% (Композиция №8) наблюдается закономерное снижение коэффициента паропроницаемости (WVP), что указывает на формирование более плотной структуры, способной эффективнее ограничивать диффузию водяного пара. Однако паропроницаемость (WVTR), напротив, достигает наибольшего значения при 0,3% камеди и снижается при концентрации 0,4% (Композиция №7), после чего вновь возрастает при 0,5%.

Такое несоответствие между WVP и WVTR может быть связано с изменением толщины и структуры покрытия: при малом содержании камеди структура менее однородна, а при её избытке возможно образование трещин или

микропор, через которые усиливается перенос влаги. Оптимальное соотношение показателей зафиксировано у Композиции №7 (0,4% камеди), что свидетельствует о сбалансированной структуре с умеренной плотностью и эффективным влагобарьерным эффектом.

На основе анализа представленных выше практических данных сформулируем следующие выводы о преимуществах каждой серии пленок:

1) повышение концентрации ксантановой камеди в составе коллагеновых плёнок (Композиции №1–4) вызывает рост паропроницаемости до $568,2 \text{ (г/(м}^2 \text{) *24ч)}$, что связано с её гидрофильной природой и формированием менее плотной структуры. Наиболее сбалансированные показатели наблюдаются у Композиции №2 (0,3% камеди), которая отличается умеренной проницаемостью и улучшенными структурными характеристиками;

2) добавление мёда в Композицию №6 при прочих равных условиях привело к снижению скорости переноса водяного пара – т.е. паропроницаемости с $530,22 \text{ (г/(м}^2 \text{) *24ч)}$ до $490,38 \text{ (г/(м}^2 \text{) *24ч)}$. Это может быть связано с водосвязывающими и уплотняющими свойствами мёда, что подтверждают значения коэффициента паропроницаемости. Композиция №6 демонстрирует лучший влагобарьерный эффект среди исследуемых образцов в данной серии, может быть использована для упаковки продуктов, чувствительных к потере влаги;

3) несмотря на увеличение коэффициента паропроницаемости (WVP) с увеличением содержания ксантановой камеди в композициях №7–9, наблюдается снижение общей паропроницаемости (WVTR) до $507,51 \text{ (г/(м}^2 \text{) *24ч)}$. Это может быть связано с влагоудерживающими свойствами мёда, входящего в состав покрытий: он способствует удержанию влаги внутри структуры, тем самым снижая скорость её передачи. Наиболее сбалансированные характеристики достигнуты в Композиции №7 (0,4% камеди), что делает её оптимальной в данной группе, а также делает её перспективной для использования в упаковке «дышащих» продуктов, таких как фрукты, овощи и зелень.

Использованные источники:

1. Siracusa v. Food packaging permeability behaviour: a report // *international journal of polymer science*. 2019. Vol. 2019. P. 1–17. Doi: [10.1155/2019/4752871](https://doi.org/10.1155/2019/4752871).
2. Nawab a., alam f., haq m.a. preparation and characterization of starch based biodegradable films: a review // *international journal of biological macromolecules*. 2016. Vol. 91. P. 1090–1096. Doi: [10.1016/j.ijbiomac.2016.06.045](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.045).
3. Gómez-estaca j., lópez-de-dicastillo c., hernández-muñoz p., catalá r., gavara r. Advances in antioxidant active food packaging // *trends in food science & technology*. 2016. Vol. 51. P. 249–260. Doi: [10.1016/j.tifs.2016.03.007](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.007).
4. Sworn g. Xanthan gum // in: phillips g.o., williams p.a. (eds.). *Handbook of hydrocolloids*. 3rd ed. Cambridge: woodhead publishing, 2021. P. 955–980. Doi: [10.1016/b978-0-12-820096-7.00034-1](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820096-7.00034-1).
5. Talón e., trifkovic k.t., nedovic v., bugarski b., vargas m. Functional biopolymer-based films with edible oils: effect on the barrier and mechanical properties // *journal of food engineering*. 2017. Vol. 213. P. 47–56. Doi: [10.1016/j.jfoodeng.2017.01.009](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.009).
6. Zhou y., zhang l., wang j., zhang l. Physical and structural properties of collagen-based films modified with xanthan gum for food packaging // *polymers*. 2020. Vol. 12. No. 3. Article 523. Doi: [10.3390/polym12030523](https://doi.org/10.3390/polym12030523).
7. Faria-tischer p.c.s. et al. Films based on alginate: a review on formulation and characteristics // *carbohydrate polymers*. 2015. Vol. 117. P. 66–74. Doi: [10.1016/j.carbpol.2014.09.064](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.09.064).
8. Marangoni junior l. Et al. Edible films based on gelatin and honey: development and characterization // *food bioscience*. 2021. Vol. 43. Article 101307. Doi: [10.1016/j.fbio.2021.101307](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101307).
9. Ahmed j., hiremath n. Physical, mechanical and barrier properties of edible films from biopolymers incorporated with natural antimicrobials // *trends in food science & technology*. 2019. Vol. 88. P. 10–23. Doi: [10.1016/j.tifs.2019.03.008](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.008).