Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-324-332 Оригинальная статья/Research article
УДК Click to enter "УДК" Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Оценка антимикробных и физико-механических свойств покрытий, разработанных с добавлением экстракта цветков ромашки аптечной (Matricaria recutita)

Анастасия А. Федорова [1] anastasiaairis@gmail.com 0009-0002-3851-2135
Али Я. Альхаир [1] alkhaira@mgupp.ru 0000- 0002-9518-7781
1 Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия

Аннотация. Настоящее научное исследование направлено на решение крайне актуальной мировой проблемы значительных экономических издержек и потерь продовольствия, обусловленных микробиологической порчей продуктов питания, а также сопутствующей проблемой голода в отдельных регионах планеты. Целью данной работы является экспериментальное определение антимикробных, физико-механических, гидролитических свойств разработанных свободных упаковочных покрытий на основе яблочного пектина с различными концентрациями вводимого экстракта цветков ромашки аптечной (*Matricaria recutita*). На первом этапе проведенного исследования высушенные цветки ромашки подвергались механическому измельчению до мелкодисперсного состояния, после чего осуществлялась их экстракция в аппарате Сокслета с использованием гексана в качестве растворителя в течение 8 часов при температуре 70 °C. На втором этапе из нагретых водных растворов яблочного пектина и пластификатора глицерина с добавлением полученного экстракта в концентрациях 0,5%, 1% и 2% изготавливались плёночные покрытия с последующим вакуумированием и сушки в формах. В ходе комплексных испытаний экспериментально установлено, что оптимальной является концентрация экстракта ромашки 2%. При данной концентрации антимикробная активность против тест-штамма *Bacillus subtilis* достигла высокой эффективности в 99,8%, а временной интервал до полной потери структурной целостности пленки в воде увеличился до 25 секунд. Анализ прочностных показателей выявил рост модуля упругости на 63% при одновременном закономерном снижении предела прочности на 32%. Модифицированные биополимерные покрытия рекомендуются к применению в качестве активных функциональных упаковочных агентов для пролонгации сроков хранения свежих фруктов, овощей и кондитерских изделий, а также в медицине в качестве адгезивных плёнок.

Ключевые слова: антимикробные свойства, съедобные покрытия, пектин, ромашка matricaria recutita, метод сокслета.

Evaluation of antimicrobial and physical-mechanical properties of coatings developed with the addition of chamomile flower extract (Matricaria recutita)

Anastasia A. Fedorova [1] anastasiaairis@gmail.com 0009-0002-3851-2135
Ali Y. Alkhair [1] alkhaira@mgupp.ru 0000- 0002-9518-7781
1 Russian Biotechnological University,Volokolamsk highway,11,Moscow,125080 Russia

Abstract. This scientific study aims to address the critical global problem of significant economic costs and food losses caused by microbiological spoilage of food products, as well as the associated problem of famine in certain regions of the planet. The aim of this study is to experimentally determine the antimicrobial, physicomechanical, and hydrolytic properties of developed loose packaging coatings based on apple pectin with varying concentrations of chamomile flower extract (*Matricaria recutita*). In the first stage of the study, dried chamomile flowers were mechanically ground to a fine powder, followed by extraction in a Soxhlet apparatus using hexane as a solvent for 8 hours at 70°C. In the second stage, film coatings were produced from heated aqueous solutions of apple pectin and glycerin plasticizer with the addition of the resulting extract at concentrations of 0.5%, 1%, and 2%. These were then vacuumed and dried in molds. During comprehensive testing, it was experimentally established that a 2% chamomile extract concentration was optimal. At this concentration, antimicrobial activity against the *Bacillus subtilis* test strain reached a high efficiency of 99.8%, and the time interval before complete loss of structural integrity of the film in water increased to 25 seconds. Analysis of strength parameters revealed a 63% increase in elastic modulus with a simultaneous, predictable, 32% decrease in tensile strength. The modified biopolymer coatings are recommended for use as active functional packaging agents to extend the shelf life of fresh fruits, vegetables, and confectionery products, as well as in medicine as adhesive films.

Keywords: Antimicrobial properties, edible coatings, pectin, chamomile Matricaria recutita, Soxhlet method.

Введение

Согласно масштабному исследованию глобальных цепей поставок продовольствия, ключевыми факторами порчи свежей продукции

Для цитирования
Федорова А.А., Альхаир А.Я. Оценка антимикробных и физико-механических свойств покрытий, разработанных с добавлением экстракта цветков ромашки аптечной (Matricaria recutita) // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 324–332. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-324-332

For citation
Fedorova A.A., Alkhair A.Y. Evaluation of antimicrobial and physical-mechanical properties of coatings developed with the addition of chamomile flower extract (Matricaria recutita). Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 324–332. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-324-332

© 2026, Федорова А.А. и др. / Fedorova A.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

на этапах транспортировки и хранения являются ненадлежащие условия среды и микробиологическое воздействие, что требует внедрения активных барьерных материалов [1]. Упаковка играет критически важную роль в жизненном цикле пищевых продуктов, обеспечивая их сохранность, микробиологическую безопасность и продление срока годности. Она защищает продукты от комплекса негативных внешних воздействий таких как механические повреждения, влага, солнечный свет, загрязнение и развитие патогенной микрофлоры, а также упрощает процессы транспортировки, хранения и логистики [2]. В настоящее время, на фоне роста потребительского спроса на экологически безопасные продукты, особую актуальность приобретает разработка инновационных упаковочных решений. Традиционные синтетические полимерные материалы, производимые из невозобновляемых ресурсов, создают значительную экологическую нагрузку ввиду их низкой скорости деградации. В связи с этим научный и промышленный интерес смещается в сторону создания биоразлагаемых упаковочных материалов на основе возобновляемого природного сырья. Таким образом, интеграция концепций биоразлагаемости и активной антимикробной защиты в рамках одного упаковочного материала отвечает двум глобальным задачам: снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду и обеспечению высоких стандартов пищевой безопасности [3].

Цель работы – определение антимикробных, физико-механических, свойства свободных покрытий на основе яблочного пектина с различными концентрациями экстракта цветков ромашки аптечной.

Многие исследователи использовали природные полимеры, такие как крахмал, желатин и пектин, для производства упаковочных материалов с антимикробными свойствами, которые также являются биоразлагаемыми. Был разработан активный упаковочный материал на основе картофельного крахмала с использованием эфирного масла гвоздики. Крахмальные плёнки были получены из водных растворов с добавлением эфирного масла гвоздики (0,5; 1,0; 3,0; 5,0%) при температуре 98 ± 2 °C. Полученные образцы показали антимикробные свойства в отношении *E.coli, B. subtilis, C. albicans, A. niger*. Так как, зона ингибирования достигала (9, 10 мм) при концентрациях (3,0; 5,0%) соответственно для *A. Niger*[4]. Получен материал в состав которого входит желатин и лизоцим. На подложку из плёнки на основе ПП (полипропиленовая подложка была получена методом плоскощелевой экструзии, при температуре 210–230 °C) наносили желатин и оставляли его сохнуть при комнатной температуре трое суток. Двухслойные желатиновые плёнки на основе полипропилена с добавлением лизоцима, концентрация которых составила (1,0; 5,0; 10,0%) проявили антимикробные свойства насчёт *E.coli, B. subtilis, C. albicans, A. niger*. Образцы использовались для упаковки и обертывания куриного филе. Результаты показали, что после 10 дней хранения при комнатной температуре на поверхности филе не наблюдалось роста бактерий при концентрации 10%. В то же время в контрольной группе наблюдался значительный рост грибов и бактерий [5]. Широкое применение в своих работах пектин нашёл у большого количества учёных. Этот компонент используется как один из ингредиентов для получения съедобной плёнки. Так как плёнка двухслойная пектин используется в качестве пластификатора, а яблочное пюре как второй слой. Для приготовления плёнки к заранее подготовленному и измельчённому пюре добавляют пластификатор 0,1–5,0% от массы яблочного пюре, равномерно распределяя его по всему объёму. Получив два слоя совместно вальцируют. Далее сушат при температуре 55–70 °C в течение 1–3 часов, а затем охлаждают до комнатной температуры. Плёнки с добавлением пектина показали хорошую прочность. [7] Введение цефтриаксона в пектиновую плёнку, как способ пролонгирования действия препарата.

Препарат вводили в состав полимерных плёнок на основе цитрусового пектина и ПВС. Для этого готовили смесь из 70 мл 2% водного раствора пектина и 0,5 г антибиотика, которую перемешивали 1 ч при 25 °C. Далее добавляли необходимое количество 5% раствора ПВС(соотношения пектин: ПВС = 1:0,2, 1:0,4, 1:0,6 по массе) и 0,1 г глицерина в качестве пластификатора [8]. Стоит отметить так же антиоксидантные свойства. Так, например, введение белкового гидролизата повысило эти свойства [9]. Плёнки готовили по такой технологии пектин предварительно растворяли в воде, доводили до кипения, перемешивая. Охлаждали раствор до 50 градусов и вливали гидролизат. Добавили глицерин, перемешивая всё вместе, а после распределили по чашкам Петри. Далее высушивали при температуре 20 градусов в течение суток [10].

Таблица 1.

Примеры применения полимерных плёнок природного происхождения

Table 1.

Examples of the application of polymer films of natural origin

Полимерный материал Polymer material	Технология получения Technology of production	Антимикробные свойства Antimicrobial properties	Источник Refrence
Крахмал Starch	Был разработан активный упаковочный материал на основе картофельного крахмала с использованием эфирного масла гвоздики. Крахмальные плёнки были получены из водных растворов с добавлением эфирного масла гвоздики (0, 5, 1, 3, 5%) при температуре 98 ± 2 °C в течение 5 минут.| An active packaging material based on potato starch and clove essential oil was developed. Starch films were obtained from aqueous solutions with added clove essential oil (0.5, 1.3, 5%) at a temperature of 98 ± 2°C for 5 minutes.	Полученные образцы показали антимикробные свойства в отношении E. coli, B. subtilis, C. albicans, A. Niger. зона ингибирования достигала (9, 10 мм) при концентрациях (3, 5%).| The obtained samples showed antimicrobial properties against E. coli, B. subtilis, C. albicans, A. niger. The inhibition zone reached (9, 10 mm) at concentrations of (3, 5%)	[4]
Желатин Gelatin	Получен материал, в состав которого входит желатин и лизоцим. На подложку из плёнки на основе ПП (полипропэленовая подложка была получена методом плоскощелевой экструзии, при температуре 210–230 °C) наносили желатин и оставляли его сохнуть при комнатной температуре трое суток.| A material containing gelatin and lysozyme was obtained. Gelatin was applied to a PP-based film substrate (the polypropylene substrate was produced using the flat-die extrusion method at a temperature of 210–230°C) and left to dry at room temperature for three days.	Двухслойные желатиновые плёнки на основе полипропилена с добавлением лизоцима, концентрация которых составила (1, 5, 10%) проявили антимикробные свойства насчёт E. coli, B. subtilis, C. albicans, A. Niger. Two-layer polypropylene-based gelatin films with added lysozyme at concentrations of 1, 5, and 10% demonstrated antimicrobial properties against E. coli, B. subtilis, C. albicans, and A. niger	[5]
Пектин Pectin	Пектиновый раствор с концентрацией 1%.| Pectin solution with a concentration of 1%	1% раствор яблочного пектина в отношении E.coli имел зону ингибирования 4 и 10 мм. В отношении Staphylococcus aureus 0 мм. В отношении Proteus mirabilis 10 и 5 мм. Pseudomonas aeruginosa 0 мм и Enterococcus faecalis 0 мм. A 1% apple pectin solution had an inhibition zone of 4 and 10 mm against E. coli. It had an inhibition zone of 0 mm against Staphylococcus aureus. It had an inhibition zone of 10 and 5 mm against Proteus mirabilis. It had an inhibition zone of 0 mm against Pseudomonas aeruginosa and an inhibition zone of 0 mm against Enterococcus faecalis.	[6]

Исследователи Ли и Чанг разработали антимикробные керамические полиэтиленовые гибридные плёнки, используя натуральный экстракты ромашки и технологию выдувной экструзии. В отношении дрожжей (*Rhodotorula minuta*) экстракт ромашки проявил антимикробные свойства, а зона подавления микроорганизмов достигла (12, 13, 14 мм) при концентрациях (0,5; 1,0; 2,0%) соответственно. Полиэтиленовая плёнка с добавлением кремния для упаковки кормов готовилась из гранул и смолы в определенном соотношении 1:9, концентрация экстракта ромашки составила 3%. Из кремния с экстрактом ромашки получили плёнку (3 мкм). Получившуюся плёнку подвергли экспериментам, сравнивая её действие вместе с обычной. Изменения были заметны невооружённым глазом. Тесты на цитотоксичность полученных образцов подтвердили их нетоксичность [11]. Результаты предыдущих исследований указывают на необходимость дальнейших исследований, особенно в отношении физико-механических свойств получаемых покрытий.

В ходе предыдущих исследований было установлено, имеет антимикробные свойства в отношении грамположительных (Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus), грамотрицательных бактерий (Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa) и дрожжей (Candida albicans) [7].

Самой ценной частью эфирного масла является хамазулен – это производное азулена [12]. Данное соединение интересно не столько прямым бактерицидным действием

(которое, как мы видим, у тотального экстракта невелико), сколько способностью модулировать воспалительный ответ и стабилизировать клеточные мембраны. Однако, помимо терпеноидов, вклад в общий фармакологический эффект вносят и другие группы веществ: в частности.

1. Хамазулен является чрезвычайно ценным соединением с однозначно документированной активностью в качестве мощного антиоксиданта.

2. Хамазулен обладает противовоспалительной (подавляет воспаление и способствует заживлению тканей), антиоксидантной (нейтрализует свободные радикалы и защищает клетки от окислительного стресса), антибактериальной и противогрибковой (борется с инфекциями) активностью. Неразбавленное эфирное масло из *A. arborescens* показало широкий спектр ингибирования в отношении некоторых пищевых патогенных бактерий: штаммов Listeria monocytogenes (34 из 44) [13, 14].

3. По данным одного из исследований в порошке из цветков ромашки аптечной содержится – 322,6 мг флавоноидов, 94,8 мг антоцианов, 166 мг катехинов, на 100 г порошка [15] Так же растения обладают различными способами борьбы с патогенными бактериями. Наибольший интерес в настоящий момент представляют химические вещества с антимикробной и антибиопленочной активностью, которые могут быть получены из растительного сырья. В ответ на бактериальные фитопатогены растения вырабатывают флавоноиды – большую группу полифенольных соединений, имеющих структуру бензо-γ-пирона, повсеместно присутствующих в растениях. Эти соединения присутствуют во многих растительных экстрактах. Для флавоноидов описано выраженное антимикробное действие, зависящее от их структуры. Показано, что одним из механизмов молекулярного воздействия флавоноидов является образование комплекса с белками бактерий (микробными адгезинами, ферментами, транспортными белками и др.) и дальнейшее их инактивирование. При этом липофильные флавоноиды могут дополнительно разрушать мембраны бактерий. Флавоноидные соединения катехины обладают антибактериальной активностью in vitro против Vibrio cholerae, Streptococcus mutans, Shigella spp. и других бактерий. [16].

4. Перечисленные выше биоактивные соединения оказывают антибактериальное действие посредством множественных механизмов, включая нарушение структуры бактериальной клетки, приводящее к увеличению проницаемости мембраны и утечке внутриклеточного содержимого, модификацию клеточной стенки и целостности мембраны, истощение клеточного АТФ, ингибирование синтеза белка, повреждение внутриклеточных компонентов, нарушения внутриклеточного pH, фрагментацию ДНК и нарушение бактериального кворум – сенсинга [17].

Ромашка аптечная оказывает нижеследующие действие: выраженный успокоительный, седативный эффект за счет чего помогает справляться со стрессами и депрессиями, регулирует пищеварительную систему, защищает слизистые оболочки, стимулирует регенерацию, обладает антисептическим эффектом [18]. Экстракт ромашки так же используется в косметических рецептурах [19].

Анализ токсичности хамазулена. Было обнаружено, что соединение неактивно в отношении множества конечных точек токсичности, включая гепатотоксичность, нефротоксичность, респираторные, сердечные, иммунологические, мутагенные и цитотоксические реакции [20]. Безопасность ромашки (Matricaria recutita) официально подтверждена USFDA: её экстракты, дистилляты и эфирные масла классифицированы как общепризнанно безопасные (статус GRAS), а сам компонент одобрен для использования в пищевых продуктах и безрецептурных добавках[21]. В России используется ГОСТ 2237–93, который распространяется на высушенные цветки ромашки в качестве сырья.

5. Для данного исследования был использован яблочный пектин, который обладает хорошими желирующими свойствами, в отличии от пектина сахарной свёклы или груши. Так же отмечены его эмульгирующие свойства в отношении мясных продуктах [22]. Сравнивая антиоксидантную активность растворов, в состав которых входит яблочный и цитрусовый пектин, яблочный обладает более выраженными свойствами, чем цитрусовый [23]. В данном исследовании изучалось влияние экстракта ромашки на антимикробные свойства, а также физико-механические свойства пектина.

Материалы и методы

Для получения образцов активных покрытий были использованы компоненты: яблочный пектин, производитель: ООО «Часть той силы», Россия; глицерин, производитель: Самарамедпром ОАО, Россия; ромашка аптечная (Matricaria recutita), производитель: ИП Кагарманова А.И. 453115, Россия, ГОСТ 34856–2022.

Используемое оборудование: установка для вакуумирования модель IVP-450/A. Автоматическая разрывная машина модель C610H.

В качестве методов исследования использовали следующие: комплекс физико-механических методов и метод серийных разведений, для определения антимикробной активности.

Получение экстракта из цветков ромашки аптечной. Цветки ромашки аптечной подверглись механическому измельчению до состояния мелкодисперсного порошка. Далее была взята навеска массой 50 грамм, которую поместили в фильтровальный пакет и проводили экстракцию методом Сокслета. Процесс экстракции осуществлялся в течение 8 часов, при температуре 70 °С. В качестве растворителя в данном методе использовался гексан. Полученный экстракт с остатками гексана, высушивали в сушильном шкафу при температуре 40 °С до достижения постоянной массы.

Получение плёночного материала на основе яблочного пектина. Для получения плёнок на основе пектина производилось взятие определённых компонентов. На 92 мл воды 5 г пектина, 3 мл глицерина. В предварительно нагретую до 40 °С дистиллированную воду вносили глицерин и мелкими порциями яблочный пектин. Далее смесь поместили на водяную баню, которую довели до кипения при температуре 98 ± 2 °С. В течение 5 минут происходило активное перемешивание, а за 1 минуту до конца вносили необходимое количество экстракта для достижения концентрации 0,5; 1; 2%. Затем раствор охладили и поместили в установку для вакуумирования, далее разлили по пластиковым формам и сушили в течение 3 суток при комнатной температуре.

Определение физико-механических свойств. В ходе исследования проводилась оценка физико-механических свойств в соответствии с ГОСТ 14236, измерялись такие параметры как прочность (Мпа), модуль упругости (Мпа).

Определение антимикробных свойств полученных плёнок. Для определения антимикробных свойств получаемых образцов взвесили 0,1 г образца, поместили в пробирку, налили 5 мл физраствора, и добавили 1 мл суспензии Bacillus subtilis ATCC 6633, перемешивали до растворимости и оставили смесь на 30 мин. Затем перемешали раствор шприцем 5 раз. После этого из пробирки приготовили серийные разведения (10–1; 10–2; 10–3) и из разведения 10–3 вносили 0,1 мл на среду мясо-пептонный агар (мпа) и равномерно распределили шпателем. Процесс инкубации проводили при температуре 37 градусов в течение 24 часов. Далее подсчитали колонии бактерий, выросшие на поверхности питательной среды.

Ингибирование рассчитали по формуле.

Ингибирование (%) = [(количество колоний контрольного образца – количество колоний образца с антимикробной добавкой) / количество колоний контрольного образца] × 100

Определение изменения массы полученных образцов при контакте с водой. Для оценки водопоглощения и устойчивости использовали образцы размером 10×10 мм. После определения исходной массы образцы погружали в воду. Весовой контроль осуществляли с интервалом в 5 секунд; перед каждым взвешиванием избыток влаги с поверхности удаляли фильтровальной бумагой. Измерения проводили циклически вплоть до полной потери структурной целостности образцов.

Результаты

Визуальная оценка поверхности и оптических характеристик пленочных материалов на основе пектина, с добавлением экстракта цветков ромашки, позволила установить наличие обратной зависимости между содержанием вводимого компонента и светопропусканием образцов.

Увеличение концентрации экстракта сопровождается закономерным снижением прозрачности пленок (рисунок 1).



Рисунок 1. Внешний вид плёнок на основе яблочного пектина с добавлением экстракта цветков ромашки аптечной с концентрацией 0–2%. Замечание: A – контрольный образец, 0%; B – образец с концентрацией добавки 0,5%; C – образец с концентрацией добавки 1%; D – образец с концентрацией добавки 2%.

Figure 1. Appearance of films based on apple pectin with the addition of chamomile flower extract at a concentration of 0–2%. Note: A – control sample, 0%; B – sample with an additive concentration of 0.5%; C – sample with an additive concentration of 1%; D – sample with an additive concentration of 2%.

Согласно полученным данным толщины образцов, было установлено, что толщина получаемых плёнок находиться в прямой зависимости от концентрации экстракта цветков ромашки аптечной.

На основании результатов антимикробных свойств получаемых образцов, было подтверждено, что экстракт цветков ромашки аптечной в пектиновой матрице эффективно снижает рост *Bacillus subtilis* и ингибирование данного микроорганизма достигло 99,8% при концентрации 2%.

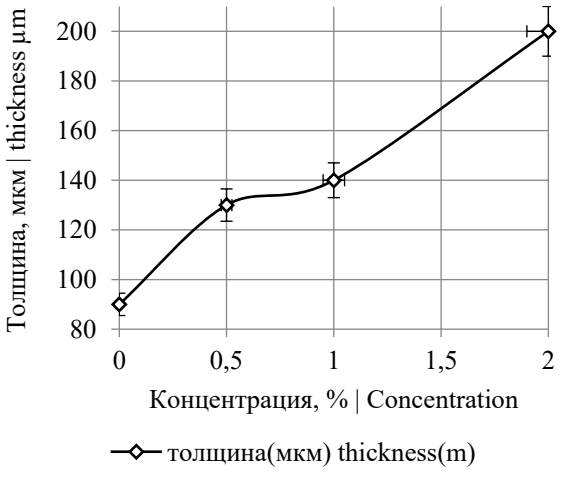


Рисунок 2. Зависимость изменения толщины получаемых образцов от концентрации экстракта

Figure 2. Dependence of the change in the thickness of the obtained samples on the concentration of the extract

Анализ данных физико-механических показателей выявил, что в исследуемом диапазоне концентраций значения прочности остаются относительно стабильными (в то время как модуль упругости демонстрирует значительный рост).

Таблица 2.

Оценка антимикробной активности при серийном разведении 10^{-3}

Table 2.

Evaluation of antimicrobial activity by serial dilution 10^{-3}

Образец| Sample	Количество колоний, растущих на питательной среде, при разведении 10^{-3} The number of colonies growing on a nutrient medium at a dilution of 10^{-3}	Ингибирование, %| Inhibition, %
0% экстракта| 0% extract	3674	-
0,5% экстракта| 0,5% extract	3508	4,5
1% экстракта| 1% extract|	177	95
2% экстракта| 2% extract|	6	99,8

Анализ водопоглощения и устойчивости образцов в водной среде выявил прямую корреляцию между содержанием экстракта и увеличением массы. Зафиксировано, что содержания экстракта влияет на время разрушения образца.

Временной интервал до потери структурной целостности (разрушения) увеличивается с 5 до 25 секунд соответственно.

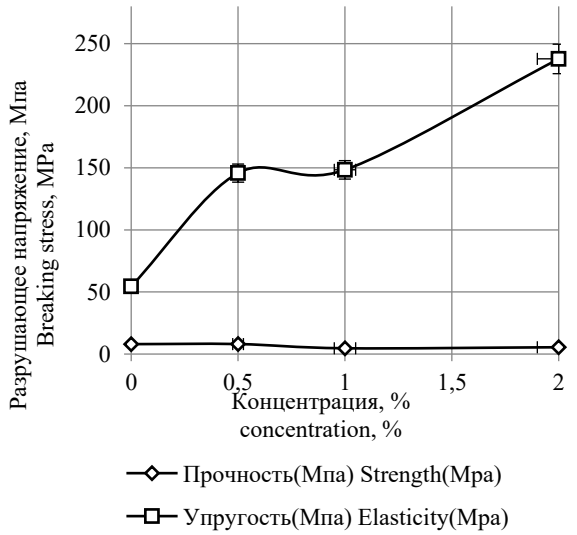


Рисунок 3. График изменения физико-механических свойств

Figure 3. Graph of changes in physical and mechanical properties.

Контрольный образец без добавки разрушился после 5 секунд. Образец с концентрацией 0,5% разрушился после 5 секунды, образец с концентрацией 1% разрушился после 15 секунд, образец с концентрацией 2% разрушился после 25 секунд.

Обсуждение

По завершении экспериментального этапа был проведен комплексный анализ полученных данных. Установлено, что концентрация вводимой добавки детерминирует оптические и физико-механические характеристики полимерных пленок. Наблюдается прямая зависимость между содержанием добавки и изменением оптических показателей образцов: Минимальная концентрация вызывает незначительный сдвиг в сторону зеленого оттенка при сохранении высокой светопропускающей способности. Образцы с концентрацией 1% характеризуются выраженным светло жёлто-зелёным окрашиванием и существенной потерей прозрачности. При концентрации 2% достигается максимальная интенсивность окраски (темно-зеленый цвет).

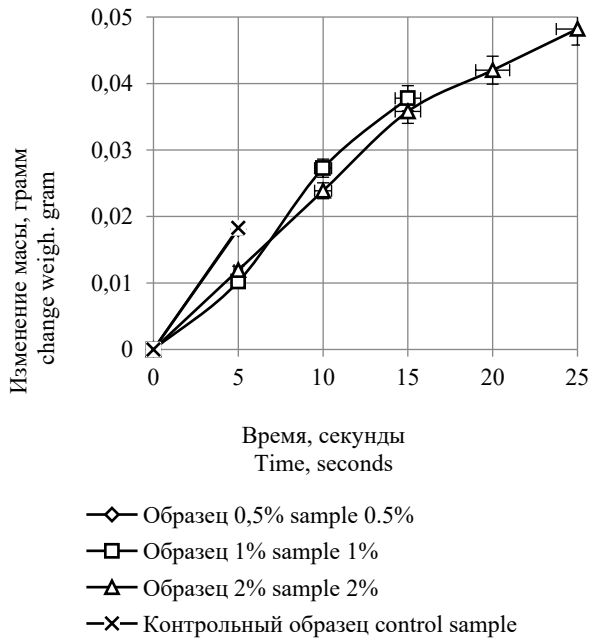


Рисунок 4. График изменения массы при контакте с водой

Figure 4.Graph of weight changes in contact with water

Выявлено закономерное увеличение толщины пленок пропорционально росту содержания добавки. Так, толщина образца с 2%-м содержанием добавки в 2,22 раза превышает аналогичный показатель контрольного образца. Данный образец также проявил наиболее выраженную антимикробную активность. Анализ прочностных характеристик показал разнонаправленное влияние концентрации добавки на свойства полимера. Модуль упругости: демонстрирует положительную динамику. У образцов с максимальной концентрацией показатель упругости на 63% выше относительно контрольного образца. Предел прочности: находится в обратной зависимости от содержания добавки. При сравнении граничных значений (0% и 2%) зафиксировано снижение прочности на 32%, что свидетельствует о некотором разупрочнении полимерной матрицы. Экспериментально установлено, что пленки с экстрактом обладают низкой гидролитической стабильностью: при контакте с водной средой наблюдается быстрая деструкция и потеря геометрической формы, несмотря на низкую растворимость самого полимера. Для образцов, сохранивших целостность, характерна высокая кинетика водопоглощения. Образец с концентрацией 1% продемонстрировал увеличение массы и интервал до разрушения 15 секунд.

Образец с концентрацией 2%, аналогично – увеличение массы и времени разрушения. Это указывает на сорбционную способность.

Заключение

В ходе проведенного исследования была подтверждена антимикробная активность экстракта цветков ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla L.*). Установлено, что пленки на основе яблочного пектина, модифицированные данным экстрактом, проявляют выраженный ингибирующий эффект в отношении тест-штамма Bacillus subtilis. Полученные данные позволяют рассматривать экстракт ромашки как эффективный функциональный агент в составе биополимерных упаковочных покрытий, способствующий пролонгации сроков хранения овощей и фруктов, кондитерских изделий. Стоит отметить его как неподходящий для жидких продуктов, так как при контакте с водой он быстро теряет свою форму. Можно рассмотреть, как вариант применения в качестве адгезивных плёнок в медицине.

Литература

1 Parfitt J., Barthel M., Macnaughton S. Food Waste within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050 // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2010. Vol. 365. Pp. 3065–3081. doi: 10.1098/rstb.2010.0126.

2 Гаджиева А. М., Маллаева Д. А. Значение безопасных упаковок пищевых продуктов и перспективы их развития // Теория и практика современной науки. 2021. № 4 (70). С. 241–242. doi : 10.31618/2412-9682.2021.4.70.12-15.

3 Шуклина Н. Н. и др. Антимикробная биоразлагаемая упаковка для увеличения сроков сохранения свежести продуктов питания // Пищевые системы. 2021. Т. 4, № 3S. С. 309–314. doi: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-309-314.

4 Alkhair A., Shchukina E. A., Gubanova M. I., Kirsh I. A. et al. Development of an active starch-based packaging material using clove oil extract as an antimicrobial additive // Storage and Processing of Farm Products. 2023. No. 4. Pp. 16–31. doi: 10.36107/spfp.2023.4.474

5 Кирш И. А. и др. Разработка антимикробных полимерных материалов с лизоцимом для упаковки мяса птицы // Мясная индустрия. 2024. № 4. С. 34–38. doi: 10.37861/2618-8252-2024-04-34-38.

6 Хатко З. Н., Ашинова А. А., Хиштова Н. С., Стенина О. Н. Исследование антибактериальной активности пектиновых растворов по отношению к клиническим штаммам микроорганизмов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 1 (15). С. 105–109.

7 Быков Д.Е., Макарова Н.В., Демидова А.В., Еремеева Н.Б. Использование пектина в качестве компонента комбинированной съедобной пленки // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 3. С. 23–27.

8 Бадыкова Л. А., и др. Полимерные композитные пленки на основе цитрусового пектина для регулируемой доставки цефтриаксона // Журнал общей химии. 2014. Т. 84, № 10. С. 1728–1733. doi: 10.1134/S0044460X1410002X.

9 Зинина О. В., и др. Исследование структуры и свойств пищевых биоактивных пленок на основе пектина // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1 (202). С. 201–207. doi: 10.36718/1819-4036-2024-1-201-207.

10 Зинина О. В., и др. Технологии получения пищевых пленочных покрытия на основе различных структурообразователей // Аграрная наука. 2023. № 3. С. 117–121. doi: 10.32634/0869-8155-2023-368-3-117-121.

11 Lee H. S., Chang J**.** Antimicrobial Ceramic Hybrid Polyethylene Films with Chamomile Extracts for Feed Packaging // Journal of the Korean Ceramic Society. 2017. Vol. 54, no. 3. Pp. 228–234. doi: 10.4191/kcers.2017.54.3.06.

12 Постраш И. Ю., и др. Антиокислительная активность различных экстрактов цветков ромашки аптечной // Вестник АПК Верхневолжья. 2020. № 2 (50). С. 15–18. doi: 10.35694/YARCX.2020.50.2.003.

13 Рандалова Т. Э., и др**.** Хамазулен и его содержание в зависимости от генетических и внешних условий произрастания в растениях рода Полынь // Вестник БГУ. Медицина и фармация. 2025. № 1. С. 45–56.

14 Перфилова О. В., и др. Сравнительный анализ антиоксидантной ценности растительного сырья как рецептурных компонентов пищевых продуктов // Технологии и продукты здорового питания (ТППП АПК). 2024. № 4. С. 100–106. doi: 10.24412/2311-6447-2024-4-100-106.

15 Рыбальченко О. В., и др. Влияние антимикробных веществ растительного происхождения на чувствительность бактериальных биопленок к антимикробным препаратам // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2023. Т. 18, № 2. С. 176–191.

16 Esmail A. et al**.** Phytochemical composition and antimicrobial activity of Matricaria chamomilla ethanolic extracts against clinical bacterial isolates in Ibb City, Yemen // Scientific Reports. 2026. Vol. 16, no. 1.doi: 10.1038/s41598-026-38001-z.

17 Абипов Р. К**.** Лекарственное значение ромашки аптечной (Matricaria recutita) // Теория и практика современной науки. 2021. № 6 (72). С. 25–27. doi: 10.37614/2999-9987.2021.6.72.003.

18 Евсеева С. Б., Сысуев Б. Б**.** Экстракты растительного сырья как компоненты косметических и наружных лекарственных средств: ассортимент продукции, особенности получения (обзор) // Фармация и фармакология. 2016. Т. 4, № 3. С. 4–37. doi: 10.19163/2307-9266-2016-4-3-4-37.

19 Yao L., Wang W., Zhang B**.** Exploring chamazulene as a novel therapeutic agent for breast cancer in silico and in vitro: apoptosis induction, cell cycle regulation, and antimetastatic effects // Frontiers in Pharmacology. 2025. Vol. 16. doi:10.3389/fphar.2025.1680615.

20 Sah A., Naseef P. P., Kuruniyan M. S., Jain G. K. et al**.** A Comprehensive Study of Therapeutic Applications of Chamomile // Pharmaceuticals. 2022. Vol. 15, no. 10.doi: 10.3390/ph15101284.

21 Стальная М. И**.** Сравнительный анализ яблочного пектина // Символ науки. 2015. № 6. С. 34–45.

22 Ашинова А. А. Антиоксидантные свойства разных пектиносодержащих растворов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80, № 4 (78). С. 199–202. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-199-202.

23 Хатко З. Н., Белявцева Т. А., Бегеретова Д. М., Колодина Е. М. и др. Исследование влияния видов пектиновых веществ и их комбинаций на антиоксидантную активность и комплексообразующую способность // Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 168–177. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.022

References

1 Parfitt J., Barthel M., Macnaughton S**.** Food Waste within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050 // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2010. Vol. 365. Pp. 3065–3081. doi: 10.1098/rstb.2010.0126.

2 Gadzhieva A. M., Mallaeva D. A**.** The value of safe food packaging and prospects for their development. Teoriya i praktika sovremennoi nauki *(*Theory and practice of modern science*).* 2021. no. 4 (70). pp. 241–242. doi: 10.31618/2412-9682.2021.4.70.12-15 (in Russian)

3 Shuklina N. N. et al. Antimicrobial biodegradable packaging to increase the shelf life of food freshness. Pishchevye sistemy (Food Systems). 2021. vol. 4. no. 3S. pp. 309–314. doi: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-309-314 (in Russian).

4 Alkhair A. et al**.** Development of an active starch-based packaging material using clove oil extract as an antimicrobial additive. Storage and Processing of Farm Product*s.* 2023. no. 4. pp. 16–31. doi: 10.36107/spfp.2023.4.474

5 Kirsh I. A. et al**.** Development of antimicrobial polymer materials with lysozyme for poultry meat packaging. Myasnaya industriya (Meat Industry*).* 2024. no. 4. pp. 34–38. doi: 10.37861/2618-8252-2024-04-34-38 (in Russian).

6 Khatko Z. N., et al.. Study of antibacterial activity of pectin solutions in relation to clinical strains of microorganisms. Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti *APK* – produkty zdorovogo pitaniya (Technologies of the Food and Processing Industry of the AIC – Healthy Food Products*).* 2017. no. 1 (15). pp. 105–109. (in Russian).

7 Bykov D.E., et al. The use of pectin as a component of a combined edible film. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv (Food Processing: Techniques and Technology). 2017. no. 3. pp. 23–27. (in Russian).

8 Badykova L. A., Fatykhov A. A., Mudarisova R. Kh. Polymer composite films based on citrus pectin for controlled delivery of ceftriaxone. Zhurnal obshchei khimii (Journal of General Chemistry). 2014. vol. 84. no. 10. pp. 1728–1733. doi: 10.1134/S0044460X1410002X (in Russian).

9 Zinina O. V., et al. Study of the structure and properties of food bioactive films based on pectin. Vestnik KrasGAU (Bulletin of KrasGAU*).* 2024. no. 1 (202). pp. 201–207. doi: 10.36718/1819-4036-2024-1-201-207 (in Russian).

10 Zinina O. V., et al. Technologies for obtaining food film coatings based on various structure-forming agents. Agrarnaya nauka (Agrarian Science*).* 2023. no. 3. pp. 117–121. doi: 10.32634/0869-8155-2023-368-3-117-121 (in Russian).

11 Lee H. S., Chang J**.** Antimicrobial Ceramic Hybrid Polyethylene Films with Chamomile Extracts for Feed Packaging. Journal of the Korean Ceramic Society. 2017. vol. 54. no. 3. pp. 228–234. doi: 10.4191/kcers.2017.54.3.06.

12 Postrash I. Yu., et al.Antioxidant activity of various extracts of Chamomile flowers. Vestnik APK Verkhnevolzh'ya (Bulletin of the Upper Volga APK*).* 2020. no. 2 (50). pp. 15–18. doi: 10.35694/YARCX.2020.50.2.003 (in Russian).

13 Randalova T. E., Radnaeva L. D., Leshcheva Yu. N., Sheveleva E. S. et al. Chamazulene and its content depending on genetic and environmental growth conditions in plants of the genus Artemisia. Vestnik BGU. Meditsina i farmatsiya (Bulletin of BSU. Medicine and Pharmacy*).* 2025. no. 1. pp. 100–106. (in Russian).

14 Perfilova O. V., Bryksina K. V., Rodina Z. Yu. Comparative analysis of the antioxidant value of plant raw materials as formulation components of food products. Tekhnologii i produkty zdorovogo pitaniya (TPPP APK*) (*Technologies and Healthy Food Products*).* 2024. no. 4. pp. 45–56. doi: 10.24412/2311-6447-2024-4-100-106 (in Russian)

15 Rybal'chenko O. V., Orlova O. G., Netesa M. A., Kapustina V. V**.** Influence of antimicrobial substances of plant origin on the sensitivity of bacterial biofilms to antimicrobial drugs. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Meditsina (Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*).* 2023. vol. 18. no. 2. pp. 176–191. (in Russian).

16 Esmail A., Hassan A., Almuntaser K., Alashari N. et al**.** Phytochemical composition and antimicrobial activity of Matricaria chamomilla ethanolic extracts against clinical bacterial isolates in Ibb City, Yemen. Scientific Reports. 2026. vol. 16. no. 1. doi: 10.1038/s41598-026-38001-z.

17 Abipov R. K. Medicinal value of chamomile (Matricaria recutita). Teoriya i praktika sovremennoi nauki (Theory and practice of modern science). 2021. no. 6 (72). pp. 15–20. doi: 10.37614/2999-9987.2021.6.72.003 (in Russian).

18 Evseeva S. B., Sysuev B. B**.** Extracts of vegetable raw materials as components of cosmetic and external medicines: product range, features of production (review). Farmatsiya i farmakologiya (Pharmacy & Pharmacology*).* 2016. vol. 4. no. 3. pp. 4–37. doi: 10.19163/2307-9266-2016-4-3-4-37 (in Russian).

19 Yao L., Wang W., Zhang B. Exploring chamazulene as a novel therapeutic agent for breast cancer in silico and in vitro: apoptosis induction, cell cycle regulation, and antimetastatic effects. Frontiers in Pharmacology. 2025. vol. 16. doi: 10.3389/fphar.2025.1680615

20 Sah A., Naseef P. P., Kuruniyan M. S., Jain G. K. et al**.** A Comprehensive Study of Therapeutic Applications of Chamomile. Pharmaceuticals. 2022. vol. 15. no. 10. doi: 10.3390/ph15101284.

21 Stal'naya M. I. Comparative analysis of apple pectin. Simvol nauki (Symbol of Science*).* 2015. no. 6. pp. 22–25. (in Russ.).

22 Ashinova A. A. Antioxidant properties of various pectin-containing solutions // Vestnik VSUET. 2018. Vol. 80, no. 4 (78). Pp. 199–202. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-199-202.

23 Khatko Z. N., Belyavtseva T. A., Begeretova D. M., Kolodina E. M., Kudainetova S. K., Bugaeva N. N**.** Investigation of the influence of pectin types and their combinations on antioxidant activity and complexing capacity. Polzunovskiy vestnik. 2025. No. 1. Pp. 168–177. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.022 (in Russian)

Сведения об авторах

Анастасия А. Федорова студент, кафедра химии, технологии полимеров и упаковочных решений, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва,125080,Россия, anastasiaairis@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-3851-2135

Али Я. Альхаир Старший преподаватель, кафедра химии, технологии полимеров и упаковочных решений, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия, alkhaira@mgupp.ru
https://orcid.org/0000- 0002-9518-7781

Information about authors

Anastasia A. Fedorova student, Department of Chemistry, Polymer Technology and Packaging Solutions, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University), Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, anastasiaairis@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-3851-2135

Ali Y. Alkhair Senior lecturer, Department of Chemistry, Polymer Technology and Packaging Solutions, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University), Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, alkhaira@mgupp.ru
https://orcid.org/0000- 0002-9518-7781

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/07/2026	**После редакции** 09/08/2026	**Принята в печать** 20/08/2026
Received 29/07/2026	**Accepted in revised** 09/08/2026	**Accepted** 20/08/2026