

Научная статья
УДК 641.1/3
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-2-118-127>
EDN LfJEXS

Формирование свойств биodeградируемых пленок на основе рыбного желатина

Олеся Сергеевна Якубова[✉], Лидия Николаевна Вострикова, Аделя Адлеровна Кушбанова

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, o.c.yakubova@mail.ru[✉]*

Аннотация. В настоящее время в пищевой промышленности и индустрии питания особое внимание уделяется созданию нетоксичных, легко утилизируемых упаковочных материалов нового ассортимента, способных обеспечить надежную защиту продукции от вредных факторов. Объектом исследования являлись биodeградируемые пленочные композиции на основе рыбного желатина и агара, с добавлением пластифицирующего агента – глицерина. Экспериментальные и аналитические исследования проводились с использованием стандартных и оригинальных методов. Проведено моделирование процесса термической обработки пленочных композиций, установлена опытная зависимость влагопоглощения пленок от температуры (интервал 120–160 °С) и продолжительности процесса термической модификации (10–30 мин). Определена возможность термической модификации биodeградируемых пленочных композиций. Рациональным режимом термообработки пленок является температура 140 °С в течение 20 мин, что позволяет сохранить показатель влагопоглощения на максимальном уровне (842 %), превышающем первоначальный показатель в 8,4 раза, в течение 120 ч. Установленные параметры термического структурирования позволяют сохранить органолептические показатели качества пленок на высоком уровне и получить однородную, пористую и эластичную пленку. Термически модифицированные пленки при температурах 140 и 160 °С отличаются повышенным временем растворения до 40 и 70 мин соответственно при температуре растворения 60 °С и до 15 и 30 мин соответственно при температуре растворения 75 °С. Показано, что термическая модификация биodeградируемых пленок будет способствовать соответствию требованиям безопасности, экологичности, отсутствия токсичности. Термическая модификация позволяет повысить функционально-технологические свойства композиционных биodeградируемых пленок, которые могут быть использованы для создания широкого спектра современных упаковочных барьерных материалов.

Ключевые слова: биополимеры, биodeградируемые пленочные композиции, полисахариды, рыбный желатин, агар, глицерин, модификация, термическая обработка

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере («Фонд содействия инновациям») в рамках договора № 18575ГУ/2023 от 24.08.2023.

Для цитирования: Якубова О. С., Вострикова Л. Н., Кушбанова А. А. Формирование свойств биodeградируемых пленок на основе рыбного желатина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 118–127. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-2-118-127>. EDN LfJEXS.

Original article

Formation of biodegradable films properties based on gelatin

Olesia S. Yakubova[✉], Lydia N. Vostrikova, Adelia A. Kushbanova

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, o.c.yakubova@mail.ru[✉]*

Abstract. Nowadays in the food and nutrition industry special attention is paid to the creation of non-toxic, easily recyclable packaging materials of a new assortment, capable of providing reliable protection of products from harmful factors. The object of the study was biodegradable film compositions based on fish gelatin and agar, with the addition of plasticizing agent - glycerol. Experimental and analytical studies were carried out using standard and original methods. Modeling of the process of thermal treatment of film compositions was carried out, the experimental dependence of moisture absorption of films on temperature (range 120-160 °C) and duration of the thermal modification process (10-30 minutes) was established. The possibility of thermal modification of biodegradable film compositions was determined. The rational

mode of thermal treatment of films is the temperature interval of 140 °C for 20 minutes, which allows to keep the moisture absorption index at the maximum level (842%), exceeding the initial index by 8.4 times, during 120 hours. The established parameters of thermal structuring allow to keep organoleptic quality indicators of films at a high level and to obtain a homogeneous, porous and elastic film. Thermally modified films at temperatures of 140 °C and 160 °C are characterized by increased dissolution time up to 40 and 70 minutes respectively at dissolution temperature of 60 °C and up to 15 and 30 minutes respectively at dissolution temperature of 75 °C. It is shown that thermal modification of biodegradable films will contribute to compliance with safety requirements, environmental friendliness, absence of toxicity. Thermal modification allows to increase functional and technological properties of composite biodegradable films, which can be used to create a wide range of modern packaging barrier materials.

Keywords: biopolymers, biodegradable polymers, polysaccharides, fish gelatin, agar, glycerol, modification, thermal structuring

Acknowledgment: the work was carried out with the financial support of the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises (FASIE), under the agreement No. 18575GU/2023 dated 08/24/2023.

For citation: Iakubova O. S., Vostrikova L. N., Kushbanova A. A. Formation of biodegradable films properties based on gelatin. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2024;2:118-127.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-2-118-127>. EDN LFFJXS.

Состояние проблемы

В настоящее время актуальным направлением является создание биодegradуемых пленок на основе полимерной матрицы желатина и композиций. Биодegradуемые материалы широко применяются в качестве современных и перспективных упаковочных материалов, носителей лекарственных препаратов, для изготовления ранозаживляющих средств и пр. В основу таких материалов включаются компоненты белкового и полисахаридного происхождения. Качественный и количественный состав композиций позволяет регулировать комплекс свойств и показателей получаемых пленочных материалов.

Для совершенствования потребительских свойств биоразлагаемых пленок используют механизмы их модификации, основанные как на химическом, физическом и ферментативном сшивании, так и на синергическом эффекте реологических свойств биополимеров различной природы. Эти физико-химические основы изменения свойств материалов возможно использовать в пищевых системах для повышения влагостойкости и прочности биоразлагаемых пленок на основе желатина.

Литературные данные свидетельствуют о том, что гидрофильный баланс макромолекул желатина и их конформационное состояние возможно регулировать благодаря модификации, посредством чего улучшаются коллоидно-химические свойства желатина и увеличиваются его стабилизирующие свойства [1–3]. Химическая модификация желатина посредством дубителей является наиболее эффективным способом в отношении изменения конформационного состояния молекул благодаря поликомпонентным и гетерофазным структурным коллагеновым единицам. Химическое дубление способствует повышению температуры плавления и увеличению прочности желатинового студня, но при этом возможно уменьшение его набухаемости и увеличение хрупкости, что снижает технологические свойства в качестве барьерных упаковочных решений, к тому же использование токсичных химических реагентов, например глутарового альде-

гида, затрагивает вопросы безопасности при его использовании в пищевой промышленности и индустрии питания.

Особое значение имеет и рассмотрение способов сочетания желатина с различными биополимерами и гидроколлоидами, среди которых подтвержденной эффективностью обладают белково-полисахаридные комплексы для получения полимерных гелей с определенными структурно-механическими свойствами. При этом присутствие агара в незначительных количествах позволяет существенно ускорить процесс гелеобразования и придать гелю желатина большую прочность [4]. Известны данные, что образование водородных связей между карбоксильными группами полисахаридов и функциональными группами белковых полимеров может способствовать стабилизации пленочных композиций и повышению их прочностных свойств [5]. В научном сообществе также достаточно хорошо изучено пластифицирующее влияние глицерина на молекулярную и фазовую структуру желатина.

Оказывать влияние на равновесный процесс глобулярно-фибрилярных конформационных переходов молекулы желатина возможно посредством теплового воздействия, что представляет собой физическую модификацию. В результате теплового воздействия происходят химические и физические процессы в реакционноспособных молекулах, характеризующиеся сближением молекулярных цепей из-за потери влаги, повышением молекулярной массы, формированием надмолекулярных структур и пространственной полимерной сетки.

Поиск альтернативных способов стабилизации коллагеновых структур в целях формирования заданных функциональных характеристик материала представляет значительный интерес и является предметом различных экспериментов.

Вопросы термической модификации и усиления межмолекулярного взаимодействия структурных белков представляют значительный интерес вследствие безопасности и нетоксичности данного способа обработки в отличие от использования химических сшивающих агентов. Известны исследова-

ния структурирования пленочных композиций на основе животного желатина из коллагенсодержащего сырья крупного рогатого скота и свиней различными способами, в том числе и посредством термообработки [6]. Имеются научные данные по структурированию рыбного желатина посредством воздействия физического фактора – температуры – с целью повышения значений физико-химических показателей и улучшения реологических свойств данного регулятора консистенции [7, 8].

Существующие научные материалы необходимо дополнить данными по разработке режимов и параметров термической модификации биодegradуемых пленочных композиций на основе нетрадиционного структурообразователя рыбного желатина и полисахаридного компонента – агар-агара – с целью их дальнейшего использования для разработки технологии получения упаковочных материалов для пищевых продуктов.

Вопросы улучшения потребительских свойств биодegradуемых пленочных композиций в связи с недостаточной изученностью представляют значительный интерес.

В связи с вышеизложенным *целью исследования* – изучение возможности термического структурирования биодegradуемых пленочных композиций на основе желатина с целью повышения их функциональности и технологичности.

Функциональные и технологические свойства могут характеризоваться совокупностью показателей, определяющих эффективность применения биодegradуемых пленок в соответствии с их назначением. Для биодegradуемых упаковочных материалов, используемых в пищевой промышленности, можно выделить основные требования: безопасность, нетоксичность, органолептические характеристики (внешний вид, цвет, вкус, запах и текстура), физико-механические характеристики (влагопоглощение, продолжительность хранения, температура растворения, продолжительность растворения).

Постановка задачи

Для формирования повышенных функционально-технологических свойств материалов проводили разработку условий и режимов термической обработки пленок при температуре от 100–180 °С в течение 10–30 мин.

Из литературных источников известно, что при температуре 135–140 °С отмечается увеличение продолжительности растворения желатиновых пленок, в связи с этим в рамках настоящих исследований интервал воздействия температур увеличен до 180 °С [8].

С целью определения возможности использования модифицированных пленок на основе желатина для хранения охлажденных пищевых продуктов исследовали свойства пленок в контакте с водой, изучали сроки хранения охлажденных полуфабрикатов, установленные санитарными нормами и государственными стандартами. Для охлажденных мясных и рыбных полуфабрикатов в индус-

стрии питания согласно СанПиН 2.3.3.1324-03 регламентированная продолжительность хранения составляет 12–48 ч, при этом для мясных полуфабрикатов рекомендуемая температура хранения – 4 ± 2 °С; для рыбных полуфабрикатов – от –2 до +2 °С. Срок хранения полуфабрикатов высокой степени готовности согласно СанПиН 2.3.3.1324-03 составляет до 48 ч. Условия хранения охлажденной рыбы согласно ГОСТ 814-2019 – при температуре воздуха от –2 до 0 °С, не допуская подмораживания поверхностных слоев. Охлажденную рыбу аквакультуры, упакованную без льда, хранят при температуре не выше 5 °С не более 2 сут. В отношении охлажденной разделанной рыбы (тушка, спинка, филе, филе-кусоч, теша, стейк), изготовленной из охлажденного сырья, срок годности устанавливается с учетом срока хранения используемой охлажденной рыбы до ее разделки. Максимальные рекомендуемые сроки годности разделанной охлажденной рыбы составляют 12 сут.

Таким образом, для охлажденных рыбных полуфабрикатов в потребительской упаковке реальные сроки годности могут составлять более 2 сут, следовательно, продолжительность исследования показателей пленок при хранении во влажной среде целесообразно увеличить до 5 сут.

Методы и результаты исследования

В качестве объекта исследования использовали биодegradуемые пленочные композиции, полученные на водной основе с введением композиционного структурообразователя белково-полисахаридной природы (пищевой рыбный желатин и агар) и глицерина.

Рыбный желатин изготовлен из вторичных коллагенсодержащих рыбных ресурсов и соответствует требованиям ТУ 20.59.60-002-40749995-2020 «Желатин рыбный. Технические условия» [7]. Пищевой агар ООО «Айдиго» (г. Екатеринбург) по органолептическим и физико-химическим показателям качества соответствует требованиям ГОСТ 16280-2002. В качестве пластификатора для повышения эластичности пленочных композиций использовали глицерин (пищевая добавка E422) производства ООО «Глицерин Соллошен» (Россия), выработанный по ГОСТ 6824-96.

Экспериментальные и аналитические исследования проводили на материально-технической базе лаборатории кафедры «Технология товаров и товароведение» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

Для проведения термического структурирования использовали сушильный шкаф с конвективным принципом работы, выдерживая образцы пленок при определенных температурах в течение установленного времени.

Учитывая пищевое назначение пленочных композиций в аспекте хранения охлажденных полуфабрикатов, исследовали модельные опыты по

хранению пленок в холодильных камерах, период хранения составлял от 1 до 120 ч.

В отношении образцов полученных пластин осуществляли холодильное хранение 4 ± 2 °С в питьевой воде при соотношении 1 : 100, период хранения до 5 сут (120 ч).

Для определения эффективности функциональных свойств исследовали показатель влагопоглощения пленок, выражающийся в способности пленок впитывать влагу в соотношении 1 : 100 при температурах холодильного хранения (4 ± 2 °С) и при температуре 20 °С. Первоначальная влажность пленки находилась на уровне 16–20 %. Взвешивание пленок на аналитических весах осуществляли до и после погружения в воду в соотношении 1 : 100, временной интервал определения влагопоглощения составлял от 1 до 120 ч. Увеличение веса пленок в воде в процентах позволяло оценить влагопоглощение, при этом первоначальный вес пленок составлял 100 %.

Эффективность термической модификации биодegradуемых пленочных композиций оценивали путем исследования зависимости влагопогло-

щения пленок от температуры и продолжительности термической обработки.

Для определения условий и режимов процессов в пищевых системах используются методы моделирования, позволяющие оптимизировать технологию [9]. В рамках настоящего исследования разрабатывается математическая модель процесса модификации пленки. Методы математической статистики, общепринятые алгоритмы на основе регрессионного анализа и оптимизации использовали для обработки экспериментальных данных, применялся пакет стандартных и прикладных программ Microsoft Office при вероятности вывода 95 %. Для реализации ортогонального центрального композиционного плана двухфакторного эксперимента использовали статистическую обработку данных с помощью программного обеспечения Statistica 10.0. и пересчета безразмерных коэффициентов в натуральные величины.

План эксперимента по моделированию влагопоглощения пленочных композиций, а также значения, уровни и интервалы варьирования входных факторов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Table 1

Значения изменяемых факторов термообработки, их уровни, интервалы и пределы варьирования

The values of the variable heat treatment factors, their levels, intervals and limits of variation

Фактор	Уровень			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
Температура, x, °С	120	140	160	20
Продолжительность термообработки, y, ч	1/6	1/3	1/2	1/6

Таблица 2

Table 2

План эксперимента по моделированию процесса влагопоглощения

An experiment plan for modeling the moisture absorption process

Номер опыта	Условия опыта	
	x, °С	y, ч
1	140	1/6
2	120	1/2
3	120	1/6
4	160	1/3
5	140	1/2
6	160	1/6
7	120	1/3
8	160	1/3
9	140	1/2

В отношении термически модифицированных пленок были исследованы сенсорные характеристики посредством дескрипторно-профильного метода дегустационного анализа с предварительной разработкой панели дескрипторов с использованием стандартной терминологии по ГОСТ ISO 5492-2014. Для дескрипторов производили оценку их интенсивности и степени восприятия по стандартной методике ГОСТ 33609-2015. Для оценки интенсивно-

сти дескрипторов использовали 5-балльную шкалу интервалов, согласно которой 5 – «сильно воспринимается»; 4 – «скорее сильно воспринимается»; 3 – «средне воспринимается (умеренная интенсивность)»; 2 – «скорее слабо воспринимается»; 1 – «слабо воспринимается»; 0 – «не воспринимается». Проведение органолептического анализа термически модифицированных пленок осуществляли с учетом нормативных требований ГОСТ ISO 8586-

2015, ГОСТ ISO 6658-2016, ГОСТ ISO 8587-2015, ГОСТ ISO 13299-2015, ГОСТ ISO 11036-2017.

Обсуждение результатов

В результате исследований определена модель влагопоглощения биодegradуемых пленочных

композиций после термической обработки с учетом температуры 120–160 °С и продолжительности процесса термической обработки (табл. 3), показатель влагопоглощения указан при температурном интервале 2–4 °С в течение 48 ч.

Таблица 3

Table 3

Опытная зависимость влагопоглощения пленочных композиций от температуры и продолжительности процесса термообработки

Experimental dependence of moisture absorption of film compositions on temperature and duration of the heat treatment process

Номер опыта	Входные факторы		Параметр оптимизации
	$x, ^\circ\text{C}$	$y, \text{ч}$	Влагопоглощение $z, \%$
1	140	1/6	560,1
2	120	1/2	501,1
3	120	1/6	546,8
4	160	1/3	454,4
5	140	1/3	545,5
6	160	1/6	463,3
7	120	1/3	539,2
8	160	1/2	432,9
9	140	1/2	446,9

В результате реализации ортогонального центрального композиционного плана двухфакторного эксперимента получено уравнение регрессии, адекватно описывающее изменение влагопоглощения пленочных композиций после процесса термообработки:

$$z = -524,369 + 17,157x + 142,893y + 1,172xy - 0,07x^2 - 743,65y^2,$$

где z – влагопоглощение, %; x – температура обработки, °С; y – продолжительность процесса, ч.

Коэффициент множественной детерминации (R^2) процесса влагопоглощения пленочных композиций составляет 0,884. Следовательно, вариация значений влагопоглощения пленок на 88,4 % обусловлена двумя анализируемыми факторами (температурой и продолжительностью термообработки). Влияние, вызванное прочими неучтенными в модели факторами, составляет не более 11,6 %.

Для определения точности полученной математической модели вычисляли среднюю относительную ошибку аппроксимации A по формуле

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right| \cdot 100 \%,$$

где фактические значения результативного признака z_i отличаются от теоретических, рассчитанных по уравнению регрессии, \hat{z}_i . Величина отклонений ($z_i - \hat{z}_i$) по каждому наблюдению представляет собой ошибку аппроксимации. Их число соответствует объему совокупности (n). Для сравнения используются величины отклонений, выраженные

в процентах к фактическим значениям. Отклонения $z_i - \hat{z}_i$ можно рассматривать как абсолютную ошибку

аппроксимации, а $\left| \frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right| \cdot 100 \%$ как относительную ошибку аппроксимации.

Средняя относительная ошибка аппроксимации составила 2,77 %, что свидетельствует о небольших (приемлемых) расхождениях между опытными и расчетными значениями параметра оптимизации. Поэтому данную модель можно использовать для поиска оптимальных технологических параметров изучаемого процесса.

С целью выявления наибольшего влияния входных факторов на параметр оптимизации определили средние коэффициенты эластичности, которые рассчитывали по формулам

$$\mathcal{E}_x = \frac{\partial z}{\partial x} \cdot \frac{x}{z(x, y)};$$

$$\mathcal{E}_y = \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{y}{z(x, y)},$$

где $\partial z / \partial x$ ($\partial z / \partial y$) – частная производная функции z по переменной $x(y)$; $x(y)$ – среднее значение переменной $x(y)$; $z(x, y)$ – значение функции z при среднем значении переменных x и y .

Средние коэффициенты эластичности для разработанной математической модели составили: $\mathcal{E}_x = -0,547$ и $\mathcal{E}_y = -0,12$. Данные коэффициенты свидетельствуют о том, что процесс влагопоглощения является неэластичным. Повышение температуры или продолжительности термообработки на

1 % существенно не влияет на исследуемый параметр оптимизации.

Сравнение средних коэффициентов эластичности показывает, что по абсолютной величине наибольшее влияние на влагопоглощение оказывает фактор x : повышение температуры термообработки на 1 % приводит к уменьшению влагопоглощения в среднем на 0,547 %. Увеличение же продолжи-

тельности термообработки y на 1 % приводит к снижению влагопоглощения только на 0,12 %.

Графическая интерпретация математической модели, описывающей зависимость влагопоглощения пленочных композиций от температуры и продолжительности процесса термообработки, представлена на рис. 1.

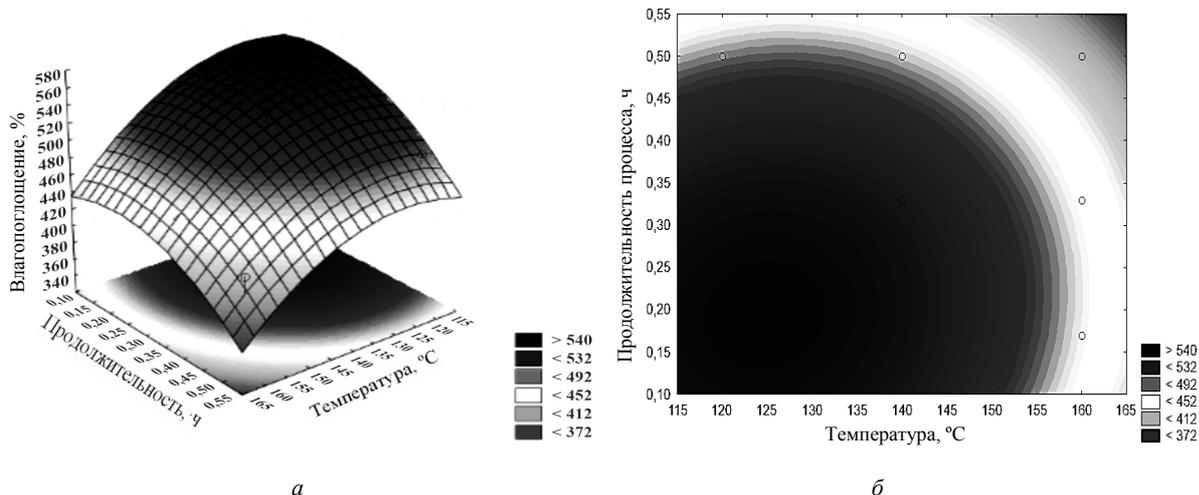


Рис. 1. Графическая интерпретация математической модели процесса термообработки пленок: а – трехмерный вид; б – двумерный вид

Fig. 1. Graphical interpretation of the mathematical model of the film heat treatment process: а – 3D view; б – 2D view

Согласно результатам исследований, термообработка пленок в диапазоне температур 120–160 °С в течение 30 мин приводит к снижению влагопоглощения до 20 %, в течение 20 мин снижение влагопоглощения пленок происходит не более чем на 3 %. Разработанная математическая модель и построенные по ней поверхности отклика и изолиний ее сечения свидетельствуют о том, что высокая величина влагопоглощения пленок отмечается при

температурном интервале 120–140 °С и продолжительности процесса 10–20 мин.

Далее проводили исследования показателей влагопоглощения пленок, термически обработанных при температурах от 120 до 140 °С в течение 20 мин, в процессе хранения при температуре 2–4 °С от начального уровня (0; 1 и 3 ч) с последующим увеличением от 24 до 120 ч (интервал увеличения – 24 ч) (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Исследование влагопоглощения (%) термически модифицированной пленки

Investigation of moisture absorption (%) of thermally modified film

Температура термообработки пленки, °С	Продолжительность хранения, ч							
	0	1	3	24	48	72	96	120
120	100	344,5	437,4	452,9	539,2	576,5	589,6	598,5
140	100	335,6	432,5	445,9	545,5	679,7	753,5	835,1

Данные табл. 4 свидетельствуют об увеличении влажности образцов пленок через 1 ч исследования в среднем в 3,3 раза. Дальнейшее увеличение продолжительности хранения пленок до 3-х ч также приводило к увеличению влажности в среднем в 4,3 раза. Через 48 ч показано увеличение влагопоглощения пленок в 5,4 раза. Термическая обработка

пленок при температуре 120 °С при хранении до 120 ч приводит к увеличению влагопоглощения в 6 раз, при таких же условиях термообработка пленок при температурах 140 °С позволяет увеличить влагопоглощение в среднем в 8,4 раза. Пленочные композиции, обработанные при температуре 120 °С, отличаются снижением влагопоглощения и эластич-

ности при механическом воздействии, что выражается медленным восстановлением вмятин после деформации, а также повышенной липкостью отдельных слоев пленок. Ограничивающим фактором для повышения влагопоглощения являются деформационные изменения в структуре пленок. Максимальное влагопоглощение пленок, обработанных при температуре 120 °С, 598 %. Режим термообработки пленок при температуре 140 °С показывает увеличение влагопоглощения через 3 сут (72 ч) хранения в среднем в 6,7 раза; через 4 сут в 7,6 раза; через 5 сут в 8,4 раза. Также для данного температурного режима отмечается сохранение внешнего пористого вида и эластичности пленок, при механическом воздействии путем надавливания структура пленки не деформируется, пористость достаточно быстро восстанавливается, отсутствуют крупные трещины, пустоты и хрупкие зоны.

Таким образом, рассматривая возможность хранения пищевой продукции с использованием разработанных пленок до 120 ч, рациональным режимом термической обработки пленочных композиций на основе рыбного желатина является температура 140 °С, что позволяет сохранить показатель влагопоглощения на максимальном уровне в 8,4 раза в течение всего срока хранения.

Учитывая пищевое направление использования пленочных композиций, целесообразным является оценка изменений при термической обработке органолептических показателей качества пленок. Для разработанных пленочных композиций были определены наиболее значимые сенсорные дескрипторы (табл. 5), количественно отраженные посредством дескрипторно-профильного метода с использованием графических профилей.

Таблица 5

Table 5

Сенсорные дескрипторы пленочных композиций

Sensory descriptors of film compositions

Органолептические показатели качества	Дескрипторы
Внешний вид	Однородность
	Деформируемость
	Липкость
Цвет	Белый
	Бурый оттенок
Вкус	Нейтральный
Запах	Нейтральный
Текстура	Пористость
	Хрупкость (склонность к разрушению)
	Эластичность

Сенсорные дескрипторы оценивали в отношении образцов пленок после термической обработки в течение 30 мин при температурах от 100 до 180 °С

(интервал увеличения – 20 °С). Результаты исследований органолептических показателей качества представлены на рис. 2.

••••• 100 °С —•• 120 °С —●— 140 °С —●— 160 °С —●— 180 °С



Рис. 2. Профилограммы образцов пленок после термической обработки в течение 30 мин при температурах от 100 до 180 °С

Fig. 2. Profilograms of film samples after heat treatment for 30 minutes at temperatures from 100 to 180 °С

Данные профилограмм свидетельствуют о том, что термическая обработка при температуре 180 °С в течение 30 мин приводит к изменению цвета в части приобретения нежелательных бурых оттенков и к деформации формы пленки, пленки отличаются пониженной эластичностью и повышенной хрупкостью. Данные изменения органолептических показателей качества могут свидетельствовать о термической деструкции белковой основы пленок (рыбного желатина), выражающейся в определенных конформационных переходах фибрилла-глобула, преобладающей в структуре макромолекулы глобулярных третичных конформаций, обуславливающих свойство хрупкости, и уменьшении эластичности и прочности, обусловленном фибриллярными структурами.

Пленки, обработанные при температурах 100 и 120 °С, отличаются повышенной липкостью и деформируемостью, что, в свою очередь, снижает эластичность пластин. Термическая обработка при различных температурах не оказывает значительного влияния на запах и вкус пленок, оставляя их на уровне нейтральности. При температуре 140 °С от-

мечается сохранение показателей однородности, пористости и эластичности на высоком уровне и отсутствие изменений цвета и запаха от регламентированного уровня.

Учитывая возможность перепадов и повышения температур при хранении пищевой продукции в биодegradуемой упаковке, исследовали показатель влагопоглощения пленок, обработанных при температуре 140 °С в течение 20 мин, при температуре хранения 20 °С. Экспериментально было установлено, что в течение 1–3 ч динамика увеличения массы пленок существенно не отличалась от влагопоглощения при температуре холодильного хранения 2–4 °С. Температура 20 °С влияла на ускорение влагопоглощения через 24 ч, при этом масса пленок увеличилась в 6,9 раза, данное значение при условии холодильного хранения 2–4 °С достигалось через 72 ч. Отмечается сохранение целостности и стабильности пленок в воде.

Дополнительно проводили исследование растворимости термически модифицированных пленок при температурах 60 и 75 °С (табл. 6).

Таблица 6

Table 6

Функционально-технологические показатели пленок из рыбного желатина после термообработки

Functional and technological parameters of fish gelatin films after heat treatment

Температура термообработки, °С	Влажность (среднее значение), %	pH	Плотность, г/см ³	Толщина, мм	Максимальное влагопоглощение, %, при температуре 2–4 °С	Температура растворения, °С	Время растворения, мин
120	14,5	5,2	0,165	2,35	598,5	60	15
						75	5
140			0,161	2,38	835,1	60	40
						75	15
160			0,168	2,35	842,0	60	70
75						30	
180			0,172	2,33	737,8	60	более 2 ч
						75	более 2 ч

Результаты исследований свидетельствуют о том, что пленки, термически модифицированные при температуре 120 °С, растворяются в воде при температуре 75 °С в течение 5 мин, термическая обработка пленок при температуре 160 °С позволяет увеличить время растворения до 30 мин. Термическая модификация пленок при температуре 140 °С способствует увеличению времени растворения до 40 мин при температуре растворения 60 °С. При этом продолжительность растворения желатина, согласно нормативным требованиям ГОСТ 11293-2017, при приготовлении 6,67 %-го раствора желатина сос-

тавляет не более 20 мин. Обращает на себя внимание стабильность к растворению пленок при температурах 60 и 75 °С более 2-х ч, термически обработанных при температуре 180 °С.

Заключение

Рациональные параметры термической модификации биодegradуемых пленочных композиций – температура 140 °С при продолжительности процесса 20 мин. Установленный режим термического структурирования пленочных композиций позволяет повысить функциональные свойства

пленочных композиций в части влагопоглощения и продолжительности хранения, сохранение влагопоглощения на максимальном уровне в 8,4 раза в течение 120 ч. При этом термически модифицированная пленка отличается однородной, пористой и эластичной текстурой, является белой по цвету и нейтральной по запаху и вкусу.

Результаты исследований могут использоваться для оптимизации режимов термической обработки

с использованием компьютерных программ в интегрированной среде программирования для удобства моделирования и многократного проведения компьютерных экспериментов. Полученные данные являются основополагающими для разработки технологии получения биоразлагаемых упаковочных материалов на основе желатина для использования в пищевых системах.

Список источников

1. Tao H., Zong-cai T., Xincheng S., Xiaomei S., Hui W., Lu Z., Nidhi B. Fish gelatin modifications: A comprehensive review // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. V. 86. P. 260–269.
2. Hongrui C., Xunuo L., Qing Z., Huanyu L., Huifeng R., Ming D., Jie Tang. Improving the comprehensive properties of gelatin films by transglutaminase and chitosan // *Food Hydrocolloids*. 2024. V. 151. P. 109854. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.109854.
3. Fangfei S., Peng S., Bingzhen L., Yongshi L., Kun W., Yongliang Z., Delu N., Hui Li. Gelatin-based multifunctional composite films integrated with dialdehyde carboxymethyl cellulose and coffee leaf extract for active food packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. V. 263 (1). P. 130302. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130302.
4. Moreno-Ricardo M. A., Gómez-Contreras P., González-Delgado Á. D., Hernández-Fernández J., Ortega-Toro R. Development of films based on chitosan, gelatin and collagen extracted from bocachico scales (*Prochilodus magdalenae*) // *Heliyon*. 2024. V. 10. Iss. 3. e125194. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25194.
5. Чурсин В. И. Структурирование биополимерных

композиций и пленок на их основе // *Пластические массы*. 2019. № 11-12. С. 38–42.

6. Бокерия Л. А., Новикова С. П., Бокерия О. Л., Костров В. И., Салохединова Р. Р., Николашина Л. Н., Шустрова О. В., Сивцев В. С. Пленочные композиции на основе желатина, структурированные разными способами // *Бюл. НИИССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания*. 2014. Т. 15. № 4. С. 60–72.

7. Якубова О. С., Бекешева А. А. Научное обоснование физических свойств рыбного желатина // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство*. 2018. № 3. С. 132–140.

8. Iakubova O. S., Aleksanian I. Iu., Maksimenko Iu. A., Bekesheva A. A. Thermal structuring of fish gelatin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 640 (3). P. 032011. DOI: 10.1088/1755-1315/640/3/032011.

9. Дворянинова О. П., Соколов А. В. Моделирование процесса сушки вторичных продуктов разделки рыб и описание в модели основных процессов тепло- и влагопереноса // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий*. 2018. Т. 80. № 2 (76). С. 125–129.

References

1. Tao H., Zong-cai T., Xincheng S., Xiaomei S., Hui W., Lu Z., Nidhi B. Fish gelatin modifications: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, vol. 86, pp. 260-269.
2. Hongrui C., Xunuo L., Qing Z., Huanyu L., Huifeng R., Ming D., Jie Tang. Improving the comprehensive properties of gelatin films by transglutaminase and chitosan. *Food Hydrocolloids*, 2024, vol. 151, p. 109854. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2024.109854.
3. Fangfei S., Peng S., Bingzhen L., Yongshi L., Kun W., Yongliang Z., Delu N., Hui Li. Gelatin-based multifunctional composite films integrated with dialdehyde carboxymethyl cellulose and coffee leaf extract for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, vol. 263 (1), p. 130302. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130302.
4. Moreno-Ricardo M. A., Gómez-Contreras P., González-Delgado Á. D., Hernández-Fernández J., Ortega-Toro R. Development of films based on chitosan, gelatin and collagen extracted from bocachico scales (*Prochilodus magdalenae*). *Heliyon*, 2024, vol. 10, iss. 3, e125194. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25194.
5. Chursin V. I. Strukturirovanie biopolimernykh kompozitsii i plenok na ikh osnove [Structuring of biopolymer compositions and films based on them]. *Plasticheskie massy*, 2019, no. 11-12, pp. 38-42.

6. Bokeriia L. A., Novikova S. P., Bokeriia O. L., Kostrov V. I., Salokhednina R. R., Nikolashina L. N., Shustrova O. V., Sivtsev V. S. Plenochnye kompozitsii na osnove zhelatina, strukturirovannye raznymi sposobami [Gelatin-based film compositions structured in different ways]. *Biulleten' NTsSSKh im. A. N. Bakuleva RAMN. Serdechno-sosudistye zabolevaniia*, 2014, vol. 15, no. 4, pp. 60-72.

7. Iakubova O. S., Bekesheva A. A. Nauchnoe obosnovanie fizicheskikh svoistv rybnogo zhelatina [Scientific substantiation of the physical properties of fish gelatin]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2018, no. 3, pp. 132-140.

8. Iakubova O. S., Aleksanian I. Iu., Maksimenko Iu. A., Bekesheva A. A. Thermal structuring of fish gelatin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 640 (3), p. 032011. DOI: 10.1088/1755-1315/640/3/032011.

9. Dvorianinova O. P., Sokolov A. V. Modelirovanie protsessa sushki vtorichnykh produktov razdelki ryb i opisaniie v modeli osnovnykh protsessov teplo- i vlagoperenosa [Modeling of the drying process of secondary fish cutting products and description of the main heat and moisture transfer processes in the model]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*, 2018, vol. 80, no. 2 (76), pp. 125-129.

Информация об авторах / Information about the authors

Олеся Сергеевна Якубова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; o.c.yakubova@mail.ru

Лидия Николаевна Вострикова – магистрант кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; lida.vostrikova.00@mail.ru

Аделя Адлеровна Кушбанова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; abaygalieva@mail.ru

Olesia S. Iakubova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Technology of Goods and Commodity Science; Astrakhan State Technical University; o.c.yakubova@mail.ru

Lydia N. Vostrikova – Master's Course Student of the Department of Technology of Goods and Commodity Science; Astrakhan State Technical University; lida.vostrikova.00@mail.ru

Adelia A. Kushbanova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Technology of Goods and Commodity Science; Astrakhan State Technical University; abaygalieva@mail.ru

