

Исследование свойств биоразлагаемых альгинатных пленок с активным компонентом

О. В. Зинина^{1✉}, Е. А. Вишнякова¹, О. П. Неверова²

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: zininaov@susu.ru

Аннотация. С учетом неблагоприятной экологической обстановки, связанной с накоплением больших объемов перерабатываемых отходов, актуальны разработки биоразлагаемых материалов на основе природных полимеров. Кроме того, наиболее перспективны биоразлагаемые пленки с активными свойствами, позволяющими увеличивать сроки хранения продуктов питания. **Научная новизна** работы заключается в добавлении в основу матрицы пленки из альгината в качестве активного компонента белкового гидролизата в разных концентрациях. **Целью исследований** является установление свойств биоразлагаемых пленок на основе альгината с введением в состав в качестве активного компонента гидролизата сывороточного белка. **Методы исследований.** В опытных образцах пленок определяли внешний вид и прозрачность визуально, толщину, микроструктуру, антиоксидантную способность методом кулонометрического титрования, растворимость и биоразлагаемость в почве. **Результаты.** Установлено, что при различном добавлении белкового гидролизата (БГ) в состав композиции пленки значительно изменяются ее внешний вид, прозрачность и микроструктура. Оптимальным образцом по данным показателям оказалась пленка с добавлением 1 % БГ – прозрачная, однородная, нелипкая. По толщине пленки значительно не отличались и составили от 0,23 до 0,29 мм. Антиоксидантная способность пленок увеличивалась с повышением содержания БГ, растворимость при этом, наоборот, снижалась. Наиболее растворимым оказался контрольный образец пленки. Также установлено, что все образцы пленок биоразлагаемы, наиболее быстро превратился в биогурус контрольный образец и образец с добавлением 1 % БГ. Таким образом, использование белкового гидролизата в качестве активного компонента в составе композиции пленки показало эффективность с точки зрения антиоксидантных свойств. Кроме того, БГ оказал влияние и на другие важные свойства пленок.

Ключевые слова: структурообразователь, пленочное покрытие, гидролизат белка, биоразлагаемость, растворимость.

Для цитирования: Зинина О. В., Вишнякова Е. А., Неверова О. П. Исследование свойств биоразлагаемых альгинатных пленок с активным компонентом // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 76–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-76-86.

Дата поступления статьи: 31.03.2023, **дата рецензирования:** 09.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Биоразлагаемые пленочные покрытия в последнее время привлекают внимание ученых всего мира. Проблема утилизации полимеров, используемых в основе упаковочных материалов, принимает все более широкие масштабы в связи с губительным воздействием на объекты окружающей среды. Большинство традиционных упаковочных материалов не подлежат вторичной переработке и не являются экологически чистыми. Природные биополимеры в виде белков и полисахаридов являются альтернативными структурообразователями при изготовлении пленочных покрытий. Биополимерная упаковка – это экологически чистая система, которая предотвращает порчу пищевых продуктов

и повышает их качество за счет защиты от газов и влаги [1; 2].

На основе комбинации белков, полисахаридов и/или липидов можно получать композитные пленки и покрытия. Выделяют две категории композитов: многослойные композиты и конгломераты. Многослойные композиты состоят из двух или более слоев в следующих сочетаниях: белок и белок, полисахарид и белок, липид и липид, липид и полисахариды и др. [3]. Структура этих многослойных пленок оптимизирует характеристики конечной пленки или покрытия с заметным улучшением барьерных свойств. Основным недостатком двухслойных пленок и покрытий является трудоемкость процесса изготовления, который включает несколько стадий:

две стадии погружения и две стадии сушки. Кроме того, во время хранения многослойные пленки подвержены образованию трещин и имеют неоднородную структуру. Конгломераты получают смешиванием двух или более биополимеров с получением одного гомогенного слоя. Такая пленка обладает уникальными свойствами, сочетающими в себе основные свойства каждого компонента [4].

Пленки на основе таких биополимеров, как белки и полисахариды, имеют хорошие механические свойства, но проницаемы для воды из-за их гидрофильных свойств. Наиболее часто для получения пищевых пленок в качестве структурообразователя используют полисахариды морских водорослей – альгинат, агар и каррагинан. Гелеобразующая способность, эмульгирование, пенообразование различных полисахаридов морских водорослей основаны на их уникальной структуре [5]. Указанные гидроколлоиды обладают разной растворимостью в воде и добавляются в биокомпозиции в качестве гелеобразующего агента и загустителя. Также они обладают свойствами эмульгаторов, на что указывает их стабилизирующее воздействие на эмульсии [6].

Благодаря своей химической структуре альгинат обладает уникальными коллоидными свойствами, что способствует стабилизации и утолщению пищевых пленок или покрытий. Также отмечена хорошая пленкообразующая способность с высокой прозрачностью и однородностью, а при взаимодействии с ионами металлов образуются нерастворимые в воде полимеры. Кроме того, альгинат непроницаем для жиров и масел. Однако непосредственно чистый альгинат не может быть использован при изготовлении пленочных материалов из-за слабых механических свойств получаемых изделий. Отмечено, что механические свойства альгинатных пленок могут быть значительно улучшены путем сшивания пленки с Ca^{2+} и с другими ионами металлов [7] в связи с тем, что альгинат натрия содержит большое количество гидроксильных и карбоксильных групп, что обеспечивает превосходную способность адсорбировать ионы металлов.

В пищевой промышленности альгинат натрия используют в качестве эмульгатора, стабилизатора, загустителя и желеобразующего агента. В списке разрешенных пищевых добавок – альгиновая кислота и ее соли (E400–E404).

Помимо биоразлагаемости, в последние годы внимание ученых сосредоточено на придании упаковочным материалам активных свойств, способствующих увеличению сроков хранения продуктов питания. Для улучшения барьерных характеристик, термических, механических, антиоксидантных и противомикробных свойств продукты переработки морских водорослей сочетают с экстрактами растений, эфирными маслами [8]. Также в качестве активных компонентов используют ионы металлов,

антиоксиданты, бактериоцины, прополис, белковые гидролизаты [9–11]. Натуральные антиоксидантные/противомикробные соединения высоко ценятся потребителями, поскольку они воспринимаются как более безопасные.

Белковые гидролизаты все более широко используются в разных отраслях промышленности, в том числе в изготовлении биоактивных пленочных покрытий. Образующиеся в процессе гидролиза активные пептиды обладают широким спектром свойств, важных для формирования как механических характеристик пленок, так и барьерных свойств относительно окислительных и микробиологических процессов в пищевых продуктах [12–14].

Для предотвращения порчи пищевых продуктов наиболее важными для биоразлагаемых пленок активными компонентами являются биоактивные пептиды с антиоксидантными и антимикробными свойствами. Они, разрывая цепь свободнорадикальных реакций, могут замедлить скорость процессов ферментативного и неферментативного окисления в пищевом сырье и продуктах питания. Биоактивные пептиды и белковые гидролизаты обладают большим потенциалом в качестве антиоксидантных добавок, так как они могут действовать несколькими способами: восстановление гидропероксидов, удаление свободных радикалов, прооксидантное хелатирование металлов и изменение физических свойств продукции. Также благодаря поверхностно-активным свойствам пептиды и белковые гидролизаты могут располагаться на границе раздела фаз масло – вода в пищевых эмульсиях и, таким образом, создавать физический барьер, снижая контакт липидов с окислителями, что способствует снижению перекисного окисления липидов в таких пищевых системах. Другим важным свойством биоактивных пептидов является антимикробная активность. Механизм действия антимикробных пептидов в основном основан на электростатическом взаимодействии их с клеточной мембраной микроорганизмов. Они могут проникать в мембрану, вызывая ее разрушение [15].

Активные пленки с добавлением биоактивных пептидов можно получить тремя способами:

- 1) введение пептида в полимерную матрицу;
- 2) пептидное покрытие на полимерной поверхности;
- 3) иммобилизация пептидов в полимере.

Наиболее широко применим первый способ. При смешивании составных компонентов биокомпозита антимикробные пептиды должны быть совместимы с используемыми растворителями и структурообразующими полимерами. Биополимеры на основе белков и углеводов являются хорошим вариантом получения покрытия, так как они растворимы в воде, этаноле и других растворителях,

совместимы с биоактивными пептидами. Преимуществом этого метода является сохранение активности пептида, так как при производстве пленки не используются высокие температуры.

В связи с тем, что микробное обсеменение пищевых продуктов в основном происходит на поверхности, применение покрытий, содержащих антимикробные пептиды, может быть более эффективным, чем добавление их непосредственно в продукт. Пептиды непрерывно высвобождаются из покрытия на поверхность изделия, тем самым помогая поддерживать эффективные концентрации. Кроме того, использование пептидов в качестве активных ингредиентов пленочных покрытий требует меньших количеств этих веществ по сравнению с непосредственным добавлением ко всему объему продукта [16].

Белковые гидролизаты с биоактивными свойствами получают из разных видов белоксодержащего сырья, в том числе из агропромышленных отходов и побочных продуктов. При переработке сельскохозяйственного сырья образуются большие объемы отходов, содержащих белки, которые могут быть преобразованы методами биотехнологии в белковые гидролизаты и активные пептиды. Биоактивные пептиды могут выделяться из пищевых белков при гидролизе пищеварительными ферментами в пищеварительной системе человека, в процессе брожения за счет протеолитической активности микроорганизмов и в результате ферментативного гидролиза *in vitro*. Для получения биопептидов со специфической активностью для протеолиза используют протеазы с широкой специфичностью действия. Однако выделение чистых пептидов – сложный и дорогостоящий процесс, в связи с чем более актуальным является использование как ак-

тивного компонента белковых гидролизатов с подтвержденной антимикробной и антиоксидантной активностью.

Таким образом, валоризация агропромышленных отходов и побочного сырья в продукты с добавленной стоимостью, используемых для разработки биоразлагаемых активных упаковочных материалов, представляет собой перспективную практику уменьшения экологических проблем с одновременным стимулированием экономики замкнутого цикла и рациональным использованием вторичных сырьевых ресурсов [17]. Важным экологическим аспектом является также то, что для получения некоторых природных полимеров перерабатываются экологически вредные отходы или побочные продукты пищевой промышленности.

Целью исследований является установление свойств биоразлагаемых пленок на основе альгината с введением в состав в качестве активного компонента гидролизата сывороточного белка.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследования являются пленки с добавлением разных количеств белкового гидролизата (0,5; 1 и 1,5 %) и контрольный образец пленки без добавления белкового гидролизата. В качестве структурообразователя использовали альгинат натрия (ООО «Ингредико», Россия), пластификатор – глицерин (ООО «Йодные технологии и маркетинг», Россия).

Глицерин является одним из пластификаторов, которые можно добавлять в пищевые пленки на основе альгината для улучшения прочности, растворимости и эластичности.

Пленки изготавливали методом отливки по технологии, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Технология получения альгинатных пленок

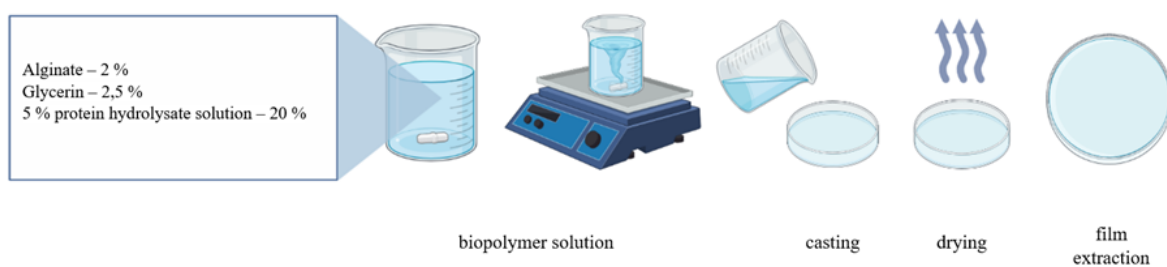


Fig. 1. Technology for obtaining alginate films

У готовых пленок визуально оценивали внешний вид и прозрачность, измеряли толщину, под микроскопом «Микромед» при увеличении $\times 400$ изучали микроструктуру.

При оценке биоразлагаемости пленок, полученных из природных полимеров, важно определить время деградации материала при воздействии микроорганизмов и ферментов, присутствующих в окружающей среде. Пленка считается биоразлагаемой, когда 90 % материала деградирует под действием биологического действия в срок до 6 месяцев [18]. Оценку биоразлагаемости проводили согласно DIN 54900-2 «Проверка на полную биологическую разложимость полимеров в лабораторном опыте» и DIN 54900-3 «Испытания в практических условиях». Тест проводили в биокомпосте следующим образом: образцы пленок размером 5×5 см смешивали с биокомпостом и помещали в мешки. Содержимое мешков анализировали каждую неделю, просеивая содержимое через сито и проверяя оставшиеся части биоматериала. Остатки неразложившихся пленок изучали под микроскопом.

Испытание пленок на растворимость в воде проводили по модифицированному методу Фархана и Хани [19]. Образцы пленок были мелко нарезаны до размера 2×2 см и высушены при 105°C в течение 6 ч перед взвешиванием (m_1). Затем каждый образец помещали в колбу на 100 см^3 и добавляли 10 мл дистиллированной воды. Образцы в воде выдерживали в течение 6 ч при комнатной температуре (25°C) и с периодическим перемешиванием с помощью магнитной мешалки при 240 об/мин. Затем содержимое колбы фильтровали, фильтр с нерастворимыми остатками пленки сушили в сушильном шкафу при 105°C до постоянной массы.

Затем фильтр взвешивали для определения нерастворимого в воде сухого вещества (m_2). Растворимость (%) рассчитывали по уравнению (1):

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100. \quad (1)$$

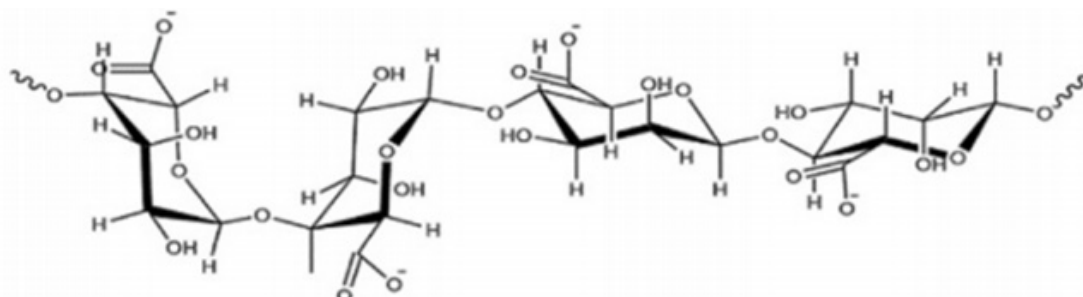


Рис. 2. Химическая структура альгината
Fig. 2. Chemical structure of alginate

Антиоксидантную способность (АОС) пленок определяли методом кулонометрического титрования на приборе «Эксперт-006» (НПК ООО «Эко-никс-Эксперт», Россия). Перед проведением анализа готовили 1-процентную спиртовую вытяжку из измельченных пленок в течение 24 ч. Для анализа использовали аликвоты по 1 мл. Эталонном при измерениях являлся 0,1-процентный раствор аскорбиновой кислоты. Результаты АОС выражали в мг аскорбиновой кислоты на 1 г пленки.

Результаты исследований пленок сравнивали с требованиями ГОСТ Р 57432-2017 «Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия».

Результаты (Results)

При составлении композиции для получения пленки каждый из компонентов, как и их совокупность, играют важную роль в формировании основополагающих свойств материала.

Свойства альгината зависят от соотношения маннуровой кислоты (М) и гулурановой кислоты (Г) (рис. 2). Когда в структуре альгината большее количество гулурановой кислоты, наблюдается высокая способность к образованию прочных связей. Если уровни гулурановой кислоты низкие, формируется более мягкая и гибкая структура [5].

Источник альгината влияет на соотношение остатков М и Г, что оказывает воздействие на физические и химических свойств альгината, а также на вязкость раствора и толщину пленки.

Внешний вид альгинатных пленок с разным уровнем введения БГ и без его введения, их микроструктура представлены на рис. 3. Пленки с добавлением 1 и 1,5 % БГ оказались прозрачными, нелипкими, без запаха. Менее прозрачная, мягкая и липкая – пленка с добавлением 0,5 % БГ и без добавления БГ, которая оказалась и самой ломкой.

При изучении микроструктуры визуализировались включения в пленках с 0,5 и 1,5 % БГ, у образца с 1 % БГ структура оказалась более однородной. У контрольного образца микроструктура с большими просветами, чем, видимо, вызваны ее высокая растворимость и ломкость (таблица 1).

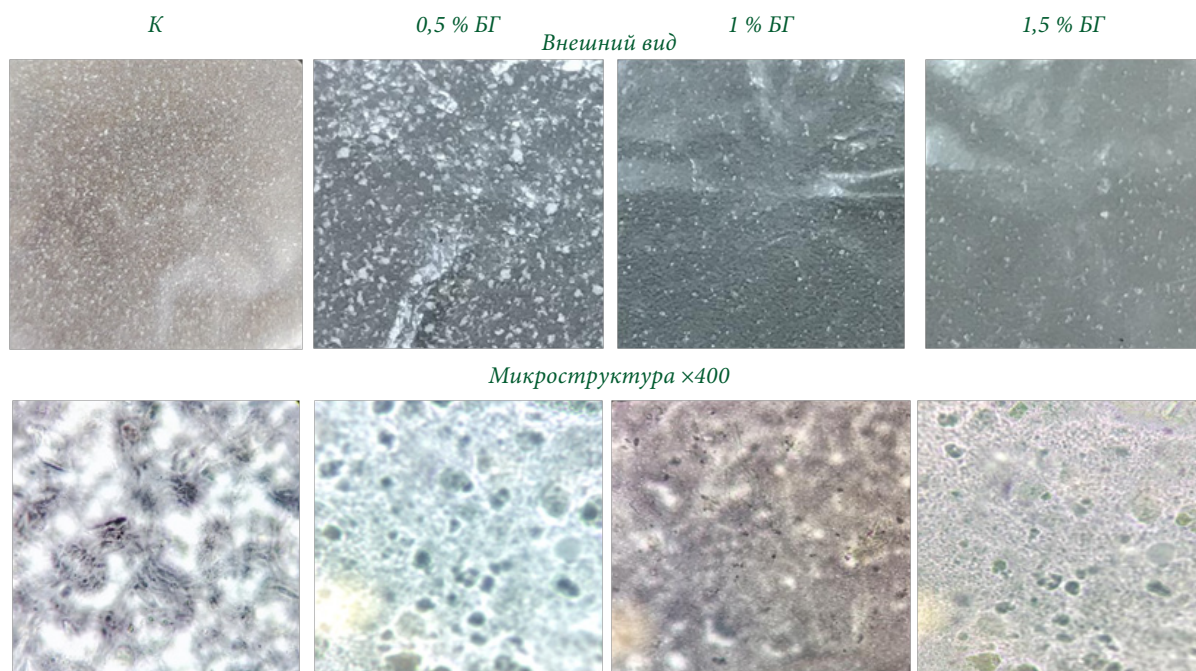


Рис. 3. Структура альгинатных пленок

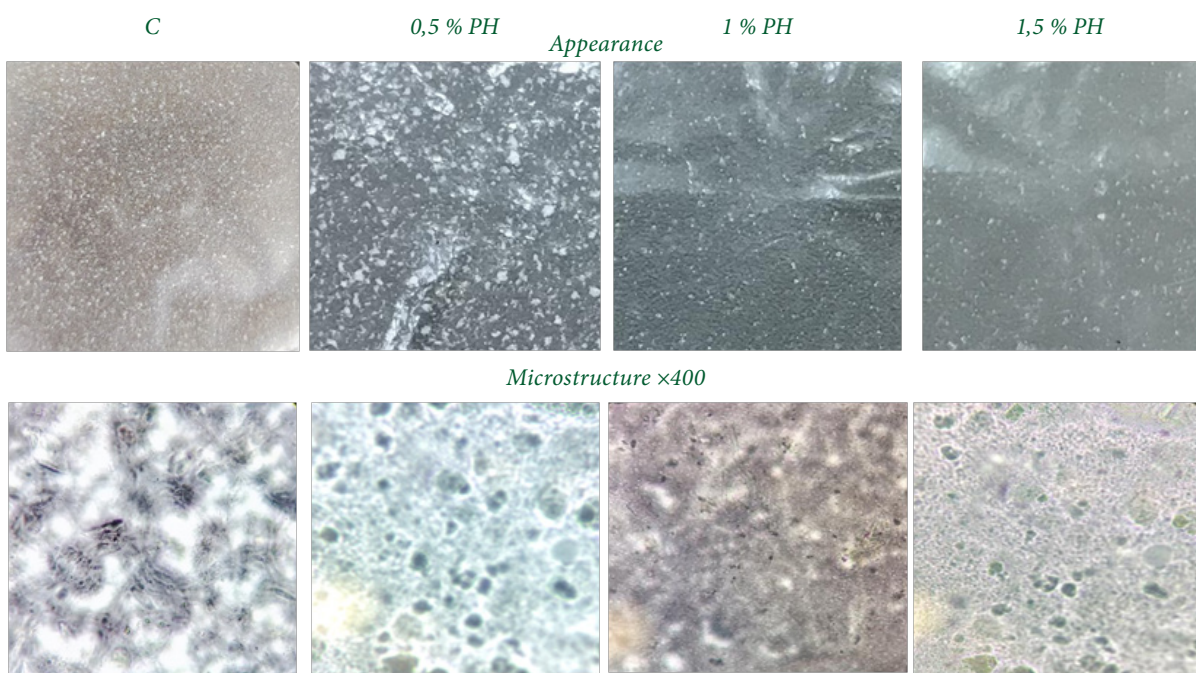


Fig. 3. Structure of alginate films

Таблица 1
Результаты исследований
альгинатных пленок

Показатель	Образец пленки			
	Контроль	0,5 % БГ	1 % БГ	1,5 % БГ
Толщина, мм	0,23	0,23	0,24	0,29
Растворимость, %	68,4	58,2	41,7	34,6
Антиоксидантная способность, мг-экв. аскорбиновой кислоты / г	2,814	3,268	3,623	3,901

Table 1
Results of studies
of alginate films

Indicator	Sample of the film			
	Control	0,5% PH	1% PH	1,5% PH
Thickness, mm	0,23	0,23	0,24	0,29
Solubility, %	68,4	58,2	41,7	34,6
Antioxidant capacity, mg-eq. ascorbic acid / g	2,814	3,268	3,623	3,901

В таблице 1 приведены толщина и растворимость пленок. Как показывают результаты, при увеличении содержания БГ снижается водорастворимость пленок. Согласно ГОСТ Р 57432-2017 «Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия», максимальная толщина пленки составляет 0,5 мм, следовательно, все исследуемые образцы соответствуют данному требованию.

Растворимость является важным показателем для пленок, и в зависимости от их назначения отдается предпочтение композиционным материалам с наименьшей или наибольшей растворимостью. Например, для съедобных пищевых пленок важна высокая растворимость, а для пищевых покрытий, предназначенных для продуктов с высокой влажностью, пленки не должны обладать высокой растворимостью и гигроскопичностью [20]. Хорошо растворимые пленки не подходят для применения в качестве первичной упаковки пищевых продуктов с высокой активностью воды. Однако их можно использовать в виде растворимых пакетиков для приготовления отдельных порций пищи, в качестве активной упаковки для высвобождения антиоксидантных и противомикробных соединений.

Результаты таблицы 1 показывают, что белковый гидролизат значительно влияет на растворимость пленки, с увеличением его содержания пленка становится менее растворимой, хотя сам по себе гидролизат обладает высокой растворимостью (более 90 %).

Альгинат представляет собой линейный полисахарид с умеренным разветвлением, благодаря чему он способен формировать пленки с высокой прочностью при реакции с катионами поливалентных металлов (кальций, магний, марганец, алюминий, железо и др.), которые могут присутствовать в гидролизате белка. Получаемый конгломерат придает пленке более высокую устойчивость к воде [21].

Антиоксидантная способность (АОС) пленок оказалась на высоком уровне для всех трех опытных образцов, с увеличением содержания БГ в составе пленки АОС увеличивается. Однако, не только БГ оказал влияние на высокие значения АОС, сама основа в виде альгината натрия также повлияла на данный показатель. В литературе отмечено, что полисахариды на основе морских водорослей в своем составе могут содержать антиоксиданты [5].

Применение различных комбинаций биополимеров может устранить недостатки однокомпонентных пленок и достичь требуемых барьерных и физико-механических характеристик. Свойства пищевых пленок и покрытий можно изменять по гидрофобно-гидрофильным характеристикам некоторых биополимеров. Гидрофобные молекулы положительно влияют на барьерные свойства для влаги, и, наоборот, гидрофильные молекулы спо-

собствуют получению материалов с повышенными прочностными характеристиками и низкой газопроницаемостью [22].

Альгинаты образуют прозрачные однородные водорастворимые пленки с высокой устойчивостью к жирам и низкой проницаемостью для кислорода. В ряде исследований альгинаты используются как основной компонент биоупаковки. Например, получены пленки из альгината натрия с глицерином, сшитые хлоридом кальция и лимонной кислотой; из альгината натрия, сшитого с хлоридом кальция; из альгината натрия, пластифицированного глицерином [21; 22].

Тест на биоразлагаемость в почве (рис. 4) показал, что все образцы пленок обладают хорошей биодеградацией, однако прочные связи альгината с частицами белкового гидролизата повышали продолжительность разложения образцов пленок с БГ. Через неделю образцы пленок скомковались и начали покрываться плесенью. Через 2 недели контрольный образец пленки и образец с 1 % БГ превратились в биогумус, образец с 0,5 % БГ стал мягче, но разложился не до конца. Наиболее стойким оказался образец пленки с добавлением 1,5 % БГ: он разложился до биогумуса лишь через 3 недели.

Природные полимеры, являясь питательной средой для почвенных микроорганизмов, подвержены разложению под действием комплекса таких биохимических факторов, как влага, отсутствие кислорода, температура.

Результаты эксперимента показали, что пленочные материалы на основе альгината биоразлагаемы. Уже через 2 недели образовался биогумус из более однородных и пористых образцов пленок, так как при этих условиях реакция разложения происходит быстрее. Грибница плесени, которая образовалась на образцах, для своего роста использует тонкие трещины и поры, при разрастании мицелия происходит механическое разрушение материала. Кроме того, грибы в процессе метаболизма образуют органические кислоты, которые для пленок являются агрессивной средой (рис. 5). Полученные нами данные согласуются с результатами других авторов, которые также установили период разложения альгинатных пленок в земле и песке около 15 дней [23].

Полученные результаты согласуются с более высокой устойчивостью пленок с добавлением белкового гидролизата. Высокая сшивающая способность альгинатных пленок с катионами способствовала большей устойчивости к факторам биодеградации, имеющимся в почве. В любом случае при несколько большей степени биоразлагаемости пленок с белковым гидролизатом все образцы обладают достаточно быстрой биоразлагаемостью и могут рассматриваться как альтернатива синтетическим полимерным материалам.

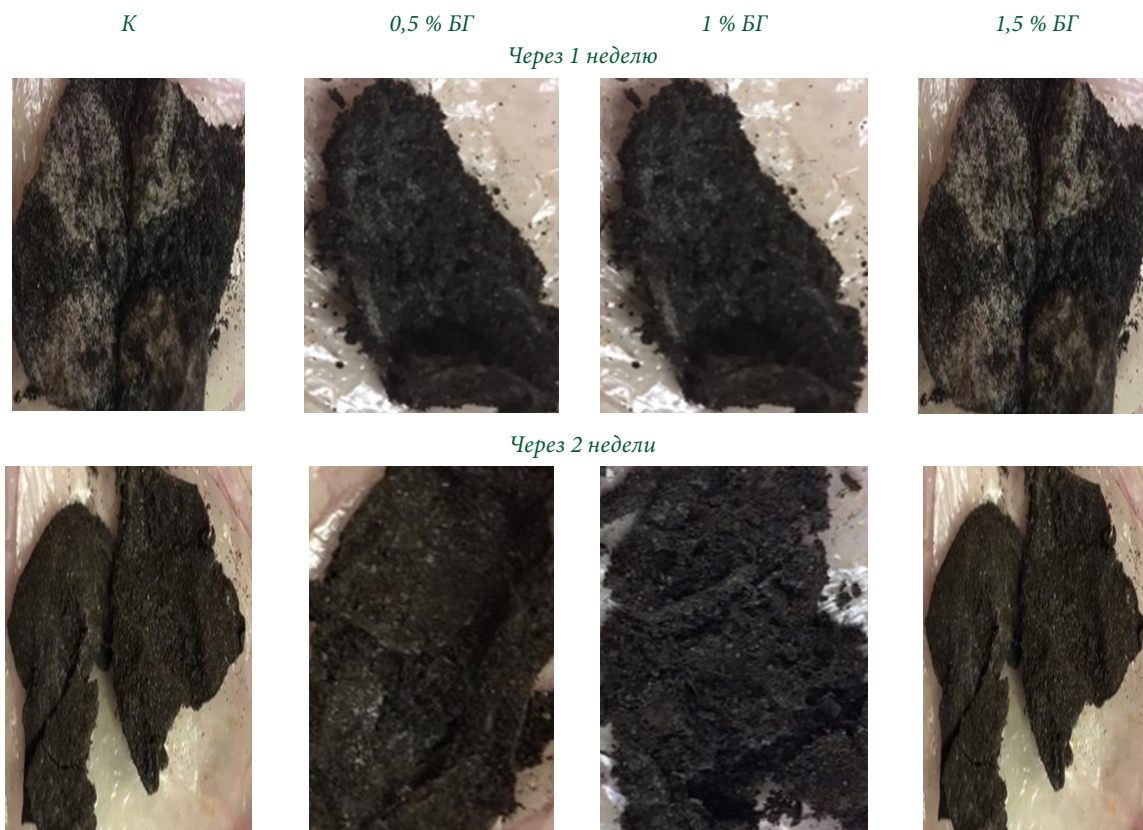


Рис. 4. Биоразлагаемость альгинатных пленок

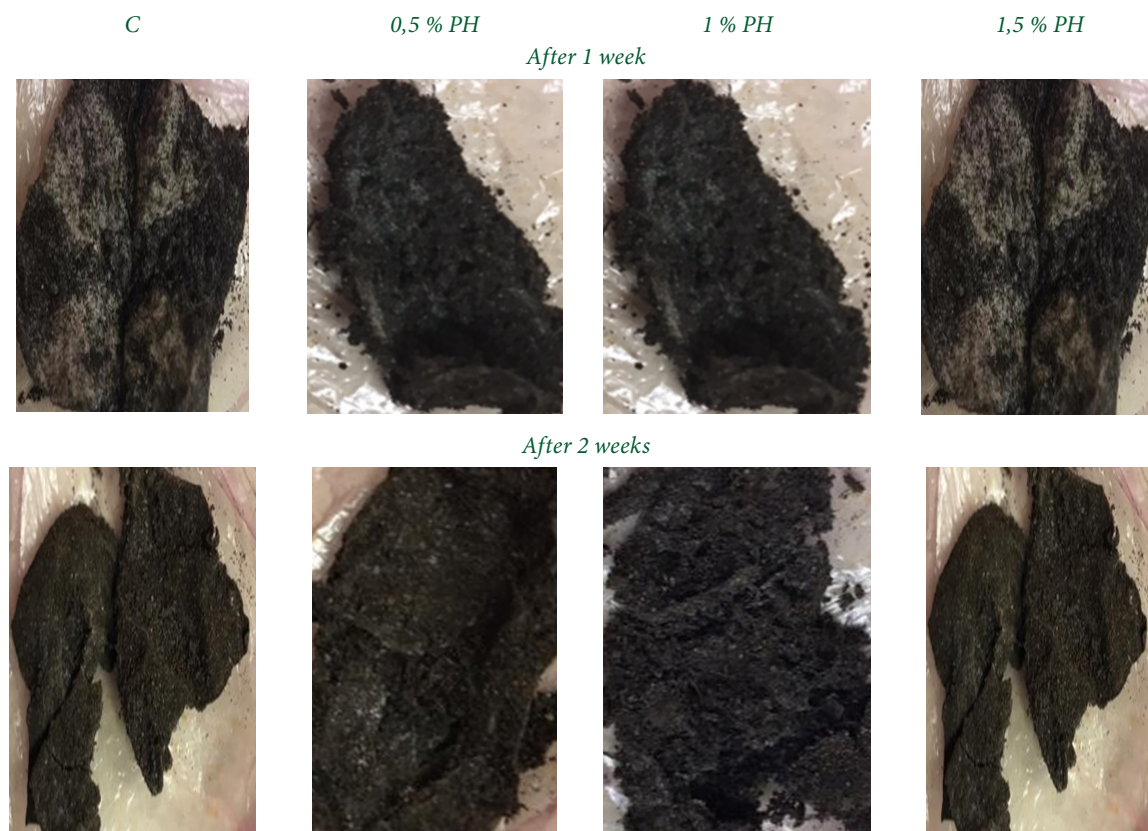


Fig. 4. Biodegradability of alginate films

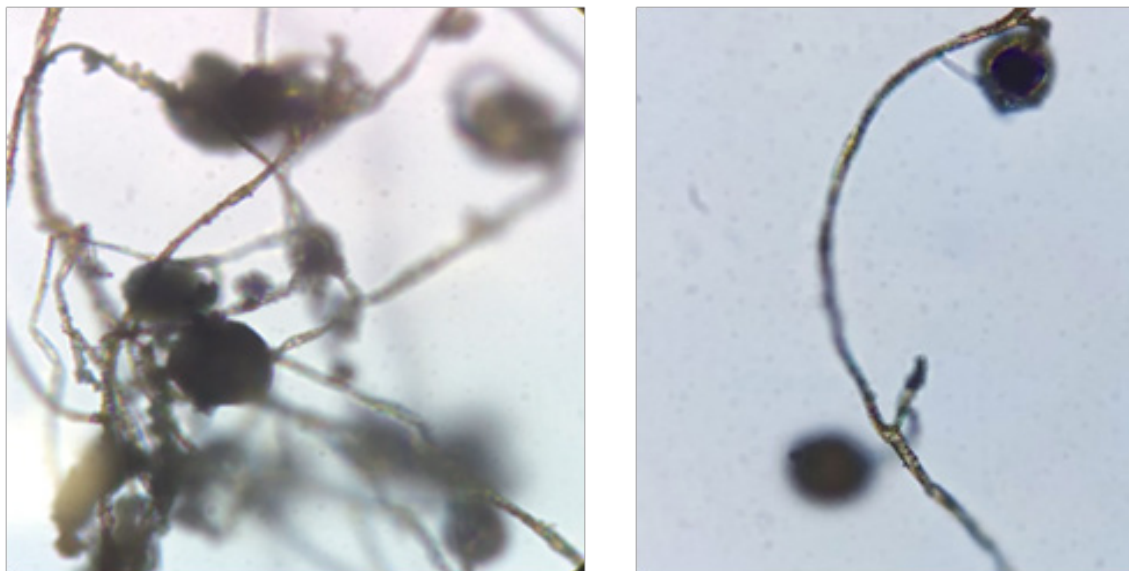


Рис. 5. Микроскопия проросшего мицелия на образцах пленок
 Fig. 5. Microscopy of germinated mycelium on film samples

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате выполнения работы получено 3 опытных образца альгинатных пленок с добавлением белкового гидролизата и контрольный образец пленки без добавления его. Проведенные исследования показали, что дозировка белкового гидролизата влияет на внешний вид и прозрачность пленки, ее растворимость в воде, биоразлагаемость и антиоксидантные свойства. По совокупности исследуемых показателей оптимальными свойствами обладает образец пленки с добавлением 1 % гидролизата белка.

Результаты исследований показали, что биокомпозит на основе альгината натрия с добавлением белкового гидролизата обладает улучшенными свойствами по сравнению с монокомпонентной пленкой и может являться альтернативой для синтетических полимерных материалов, используемых в качестве упаковочных материалов и пленок.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, номер проекта 23-26-00153.

Библиографический список

1. Seyedzade Hashemi S., Khorshidian N., Mohammadi M. An insight to potential application of symbiotic edible films and coatings in food products // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 875368. DOI: 10.3389/fnut.2022.875368.
2. Сергазиева О. Д., Долганова Н. В. Применение пленок на основе желатина для сохранения качества пищевых продуктов // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. № 1. С. 156–163.
3. Abdelhedi O., Nasri R., Jridi M., Kchaou H., Nasreddine B., Karbowski T., Debeaufort F., Nasri M. Composite bioactive films based on smooth-hound viscera proteins and gelatin: Physicochemical characterization and antioxidant properties // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 74. Pp. 176–186.
4. Iñiguez-Moreno M., Ragazzo-Sánchez J. A., Calderón-Santoyo M. An Extensive Review of Natural Polymers Used as Coatings for Postharvest Shelf-Life Extension: Trends and Challenges // *Polymers*. 2021. Vol. 13. No. 13 (19). Article number 3271. DOI: 10.3390/polym13193271.
5. Perera K. Y., Sharma S., Pradhan D., Jaiswal A. K., Jaiswal S. Seaweed Polysaccharide in Food Contact Materials (Active Packaging, Intelligent Packaging, Edible Films, and Coatings) // *Foods*. 2021. Vol. 10 (9). Article number 2088. DOI: 10.3390/foods10092088.
6. Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Ногина А. А. Технология и оценка качества пищевых пленок // *Вестник ВСГУТУ*. 2019. № 1 (72). С. 19–28.
7. Zhang Y., Man J., Li J., Xing Z., Zhao B., Ji M., Xia H., Li J. Preparation of the alginate/carrageenan/shellac films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from enteromorpha for food packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. No. 218. Pp. 519–532. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.07.145.
8. Khalil H., Saurabh C. K., Tye Y. Y., Lai T. K., Easa A. M., Rosamah E., Fazita M. R. N., Syakir M. I., Adnan A. S., Fizree H. M. Seaweed based sustainable films and composites for food and pharmaceutical applications: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. No. 77. Pp. 353–362.

9. Praseptiangga D., Ferichani I. P., Mufida N. Development and Characterization of Bioactive Edible Films Based on Semi-Refined Kappa Carrageenan Incorporated with Honey and Kaempferia galanga L. Essential Oil // Trends in Sciences. 2022. Vol. 19 (17). Article number 5761. DOI: 10.48048/tis.2022.5761.
10. Da Rocha J., Mustafa S. K., Jagnandan A., Ahmad M. A., Rebezov M., Shariati M. A., Krebs de Souza C. Development of active and biodegradable film of ternary-based for food application // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2023. No.17. Pp. 148–158. DOI: 10.5219/1853.
11. Chen W., Ma S., Wang Q., McClements D. J., Liu X., Ngai T. et al. Fortification of edible films with bioactive agents: a review of their formation, properties, and application in food preservation // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. Pp. 5029–5055. DOI: 10.1080/10408398.2021.1881435.
12. Жамсаранова С. Д., Лебедева С. Н., Болхонов Б. А., Соколов Д. В. Ферментативная конверсия пищевого белка и оценка антиоксидантной активности пептидов // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 4 (83). С. 5–14.
13. Cui Q., Duan Y., Zhang M., Liang S., Sun Y., Cheng J., Guo M. Peptide profiles and antioxidant capacity of extensive hydrolysates of milk protein concentrate // Journal of Dairy Science. 2022. No. 105 (10). Pp. 7972–7985. DOI: 10.3168/jds.2021-21496.
14. Zhi T., Li X., Sadiq F.A., Mao K., Gao J., Mi S., Liu X., Deng W., Chitrakar B., Sang Y. Novel antioxidant peptides from protein hydrolysates of scallop (*Argopecten irradians*) mantle using enzymatic and microbial methods: Preparation, purification, identification and characterization // LWT – Food Science and Technology. 2022. Vol. 164. Article number 113636. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113636.
15. Tkaczewska J. Peptides and protein hydrolysates as food preservatives and bioactive components of edible films and coatings – A review // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 106. Pp. 298–311.
16. Woraprayote W., Malila Y., Sorapukdee S., Swetwivathana A., Benjakul S., Visessanguan W. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products // Meat Science. 2016. Vol. 120. Pp. 118–132.
17. Bhat R. Sustainability challenges in the valorization of agri-food wastes and by-products // Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products. Elsevier, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-824044-1.00022-2.
18. Silva Filipini G. S., Romani V. P., Martins V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolˆao (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 109. Article number 106139. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106139.
19. Farhan A., Hani N. M. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol // Food Hydrocolloids. 2017. No. 64. Pp. 48–58.
20. Wongphan P., Harnkarnsujarit N. Characterization of starch, agar and maltodextrin blends for controlled dissolution of edible films // International Journal of Biological Macromolecules. 2020. No. 156. Pp. 80–93.
21. Priyadarshi R., Kim H. J., Rhim J. W. Effect of sulfur nanoparticles on properties of alginate-based films for active food packaging applications // Food Hydrocolloids. 2021. Vol. 110. Article number 106155. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106155.
22. Lisitsyn A., Semenova A., Nasonova V., Polishchuk E., Revutskaya N., Kozyrev I., Kotenkova E. Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation // Polymers. 2021. Vol. 13. Article number 1592. DOI: 10.3390/polym13101592.
23. Santos L. G., Alves-Silva G. F., Martins V. G. Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness // International Journal of Biological Macromolecules. 2022. Vol. 220. Pp. 866–877. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.08.120.

Об авторах:

Оксана Владимировна Зинина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624; +7 906 871-36-81, zininaov@susu.ru

Елена Александровна Вишнякова¹, лаборант-исследователь УНИД, ORCID 0000-0002-8557-9239, AuthorID 1152986; +7 912 772-15-61, l_vishny@mail.ru

Ольга Петровна Неверова², кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; +7 912 634-94-62, opneverova@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Study of the properties of biodegradable alginate films with an active component

O. V. Zinina¹✉, E. A. Vishnyakova¹, O. P. Neverova²

¹ South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: zininaov@susu.ru

Abstract. Due to the unfavorable environmental situation associated with the accumulation of large volumes of non-recyclable waste, the development of biodegradable materials based on natural polymers is relevant. In addition, the most promising biodegradable films with active properties that allow to increase the shelf life of food. **The novelty** of the work lies in the addition of an alginate film as an active component of the protein hydrolyzate to the base of the matrix in different concentrations. **The purpose** of the research is to establish the properties of biodegradable films based on alginate with the introduction of whey protein hydrolyzate as an active component. **Methods.** In experimental samples of films, the appearance and transparency were determined visually, thickness, microstructure, antioxidant capacity by coulometric titration, solubility and biodegradability in soil. **Results.** It has been determined that with various additions of protein hydrolyzate (PH) to the composition of the film, its appearance, transparency and microstructure change significantly. The film with the addition of 1 % PH turned out to be the optimal sample according to these indicators - transparent, homogeneous, not sticky. The film thickness did not differ significantly and ranged from 0.23 to 0.29 mm. The antioxidant capacity of the films increased with an increase in the content of PH, while the solubility, on the contrary, decreased. The control sample of the film turned out to be the most soluble. It was also found that all film samples are biodegradable, the control sample and the sample with the addition of 1 % PH most quickly turned into biohumus. Thus, the use of a protein hydrolyzate as an active component in the composition of the film showed effectiveness in terms of antioxidant properties. In addition, PH also affected other important properties of the films.

Keywords: structurant, film coating, protein hydrolyzate, biodegradability, solubility.

For citation: Zinina O. V., Vishnyakova E. A., Neverova O. P. Issledovanie svoystv biorazlagaemykh al'ginatnykh plenok s aktivnym komponentom [Study of the properties of biodegradable alginate films with an active component] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 76–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-76-86. (In Russian.)

Date of paper submission: 31.03.2023, **date of review:** 09.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

References

1. Seyedzade Hashemi S., Khorshidian N., Mohammadi M. An insight to potential application of symbiotic edible films and coatings in food products // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 875368. DOI: 10.3389/fnut.2022.875368.
2. Sergazieva O. D., Dolganova N. V. Primenenie plenok na osnove zhelatina dlya sokhraneniya kachestva pishchevykh produktov [The use of gelatin-based films to preserve food quality] // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018. Vol. 48. No. 1. Pp. 156–163. (In Russian.)
3. Abdelhedi O., Nasri R., Jridi M., Kchaou H., Nasreddine B., Karbowiak T., Debeaufort F., Nasri M. Composite bioactive films based on smooth-hound viscera proteins and gelatin: Physicochemical characterization and antioxidant properties // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 74. Pp. 176–186.
4. Iñiguez-Moreno M., Ragazzo-Sánchez J. A., Calderón-Santoyo M. An Extensive Review of Natural Polymers Used as Coatings for Postharvest Shelf-Life Extension: Trends and Challenges // *Polymers*. 2021. Vol. 13. No. 13 (19). Article number 3271. DOI: 10.3390/polym13193271.
5. Perera K. Y., Sharma S., Pradhan D., Jaiswal A. K., Jaiswal S. Seaweed Polysaccharide in Food Contact Materials (Active Packaging, Intelligent Packaging, Edible Films, and Coatings) // *Foods*. 2021. Vol. 10 (9). Article number 2088. DOI: 10.3390/foods10092088.
6. Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Nogina A. A. Tekhnologiya i otsenka kachestva pishchevykh plenok [Technology and quality assessment of food films] // *ESSUTM Bulletin*. 2019. No. 1 (72). Pp. 19–28. (In Russian.)
7. Zhang Y., Man J., Li J., Xing Z., Zhao B., Ji M., Xia H., Li J. Preparation of the alginate/carrageenan/shellac films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from enteromorpha for food packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. No. 218. Pp. 519–532. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.07.145.

8. Khalil H., Saurabh C. K., Tye Y. Y., Lai T. K., Easa A. M., Rosamah E., Fazita M. R. N., Syakir M. I., Adnan A. S., Fizree H. M. Seaweed based sustainable films and composites for food and pharmaceutical applications: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. No. 77. Pp. 353–362.
9. Praseptianga D., Ferichani I. P., Mufida N. Development and Characterization of Bioactive Edible Films Based on Semi-Refined Kappa Carrageenan Incorporated with Honey and Kaempferia galanga L. Essential Oil // *Trends in Sciences*. 2022. Vol. 19 (17). Article number 5761. DOI: 10.48048/tis.2022.5761.
10. Da Rocha J., Mustafa S. K., Jagnandan A., Ahmad M. A., Rebezov M., Shariati M. A., Krebs de Souza C. Development of active and biodegradable film of ternary-based for food application // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023. No.17. Pp. 148–158. DOI: 10.5219/1853.
11. Chen W., Ma S., Wang Q., McClements D. J., Liu X., Ngai T. et al. Fortification of edible films with bioactive agents: a review of their formation, properties, and application in food preservation // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Pp. 5029–5055. DOI: 10.1080/10408398.2021.1881435.
12. Zhamsaranova S. D., Lebedeva S. N., Bolkhonov B. A., Sokolov D. V. Fermentativnaya konversiya pishchevogo belka i otsenka antioksidantnoy aktivnosti peptidov [Enzymatic Conversion of Dietary Protein and Evaluation of the Antioxidant Activity of Peptides] // *ESSUTM Bulletin*. 2021. No. 4 (83). Pp. 5–14. (In Russian.)
13. Cui Q., Duan Y., Zhang M., Liang S., Sun Y., Cheng J., Guo M. Peptide profiles and antioxidant capacity of extensive hydrolysates of milk protein concentrate // *Journal of Dairy Science*. 2022. No. 105 (10). Pp. 7972–7985. DOI: 10.3168/jds.2021-21496.
14. Zhi T., Li X., Sadiq F.A., Mao K., Gao J., Mi S., Liu X., Deng W., Chitrakar B., Sang Y. Novel antioxidant peptides from protein hydrolysates of scallop (*Argopecten irradians*) mantle using enzymatic and microbial methods: Preparation, purification, identification and characterization // *LWT – Food Science and Technology*. 2022. Vol. 164. Article number 113636. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113636.
15. Tkaczewska J. Peptides and protein hydrolysates as food preservatives and bioactive components of edible films and coatings – A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 106. Pp. 298–311.
16. Woraprayote W., Malila Y., Sorapukdee S., Swetwathana A., Benjakul S., Visessanguan W. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products // *Meat Science*. 2016. Vol. 120. Pp. 118–132.
17. Bhat R. Sustainability challenges in the valorization of agri-food wastes and by-products // *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products*. Elsevier, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-824044-1.00022-2.
18. Silva Filipini G. S., Romani V. P., Martins V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolˆao (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging // *Food Hydrocolloids*. 2020. Vol. 109. Article number 106139. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106139.
19. Farhan A., Hani N. M. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol // *Food Hydrocolloids*. 2017. No. 64. Pp. 48–58.
20. Wongphan P., Harnkarnsujarit N. Characterization of starch, agar and maltodextrin blends for controlled dissolution of edible films // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. No. 156. Pp. 80–93.
21. Priyadarshi R., Kim H. J., Rhim J. W. Effect of sulfur nanoparticles on properties of alginate-based films for active food packaging applications // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 110. Article number 106155. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106155.
22. Lisitsyn A., Semenova A., Nasonova V., Polishchuk E., Revutskaya N., Kozyrev I., Kotenkova E. Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation // *Polymers*. 2021. Vol. 13. Article number 1592. DOI: 10.3390/polym13101592.
23. Santos L. G., Alves-Silva G. F., Martins V. G. Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 220. Pp. 866–877. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.08.120.

Authors' information:

Oksana V. Zinina¹, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of food and biotechnology, ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624; +7 906 871-36-81, zininaov@susu.ru
 Elena A. Vishnyakova¹, research laboratory assistant at the department of scientific and innovative activities, ORCID 0000-0002-8557-9239, AuthorID 1152986; +7 912 772-15-61, l_vishny@mail.ru
 Olga P. Neverova², candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; +7 912 634-94-62, opneverova@mail.ru

¹ South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia