

БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ ЭКОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭМУЛЬСИЙ, НАГРУЖЕННЫХ АЛЬГИНАТОМ НАТРИЯ

А.В. Малинин, *artemmalinin3@gmail.com*

А.В. Цатуров, *aram-chel@mail.ru*

М. Шемек, *shemekm@susu.ru*

М.Э. Энтону, *moentos@yahoo.com*

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Экологические проблемы, связанные с бытовыми отходами, на сегодняшний день не утрачивают актуальности. По всему миру ученые занимаются разработкой рецептур и технологий получения биоразлагаемых материалов альтернативы пластикам, в том числе из отходов переработки растительного сырья, вместе с тем, готового решения нет. Основными условиями для эффективной замены пластиков биоразлагаемыми материалами (пленок) являются: высокие барьерные свойства в сочетании с пластичностью и безопасностью при биодegradации в компостных системах для окружающей среды. Для улучшения барьерных свойств органической биоразлагаемой пленки в наших исследованиях предлагается использование в матрице материала эмульсий прямого типа «масло в воде», нагруженных альгинатом натрия, что определило цель исследования: влияние эмульсии прямого типа «масло в воде» на основе альгината натрия, полученного из бурой арктической водоросли ламинарии разной концентрации (0,5; 1,0; 1,5 %), на барьерные свойства биоразлагаемой композитной упаковки (пленки). В рамках исследования были приготовлены 4 образца пленки. В ходе исследования у образцов пленок оценивались такие показатели как толщина, содержание воды, растворимость в воде, непрозрачность, паропроницаемость и водопоглощение и определение миграции компонентов в пищевые симуляторы. В результате обработки экспериментальных данных образцов биоразлагаемого экоматериала были установлены наилучшие показатели у образцов с внесением эмульсии, нагруженной альгинатом натрия в количестве 1,5 %. Разработанный биоразлагаемый материал может быть использован для создания композитных упаковочных материалов и изделий кратковременного назначения для решения проблемы окружающей среды.

Ключевые слова: биоразлагаемая экопленка, крахмал картофельный, альгинат натрия, эмульсия, барьерные свойства, экология

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 22-76-10049.

Для цитирования: Барьерные свойства пленочных экоматериалов на основе эмульсий, нагруженных альгинатом натрия / А.В. Малинин, А.В. Цатуров, М. Шемек, М.Э. Энтону // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 1. С. 26–33. DOI: 10.14529/food240103

Original article
DOI: 10.14529/food240103

BARRIER PROPERTIES OF FILM ECO-MATERIALS BASED ON EMULSIONS LOADED WITH SODIUM ALGINATE

A.V. Malinin, artemmalinin3@gmail.com

A.V. Tsaturov, aram-chel@mail.ru

M. Chemek, shemekm@susu.ru

M.E. Entonu, moentos@yahoo.com

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Environmental problems associated with household waste today do not lose their relevance. All over the world, scientists are developing formulations and technologies for producing biodegradable materials alternatives to plastics, including from plant waste, but there is no ready-made solution. The main conditions for the effective replacement of plastics with biodegradable materials (films) are: high barrier properties combined with plasticity and safety during biodegradation in compost systems for the environment. To improve the barrier properties of an organic biodegradable film, our research proposes the use of direct oil-in-water emulsions loaded with sodium alginate in the material matrix, which determined the purpose of the study. Direct oil-in-water emulsions based on sodium alginate obtained from brown Arctic algae kelp of different concentrations (0.5; 1.0; 1.5 %) on the barrier properties of biodegradable composite packaging (film). As part of the study, 4 film samples were prepared. During the study, film samples were assessed for such indicators as thickness, water content, water solubility, opacity, vapor permeability and water absorption and determination of the migration of components into food simulants. As a result of processing experimental data from samples of biodegradable eco-material, the best performance was established for samples with the addition of an emulsion loaded with sodium alginate in an amount of 1.5 %. The developed biodegradable material can be used to create composite packaging materials and non-durable products to solve environmental problems.

Keywords: biodegradable film, potato starch, sodium alginate, emulsion, barrier properties, ecology.

Acknowledgments. The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 22-76-10049.

For citation: Malinin A.V., Tsaturov A.V., Chemek M., Entonu M.E. Barrier properties of film eco-materials based on emulsions loaded with sodium alginate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 1, pp. 26–33. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240103

Введение

На сегодняшний день проблемы, связанные с ростом полимерных пластиковых бытовых отходов, в большей части определены сложностью их переработки, а поиск их решений является актуальной задачей для научного сообщества. Традиционная утилизация данных бытовых отходов, которая осуществляется посредством сжигания или захоронения, является не рентабельной и прежде всего небезопасной. Постоянный рост полимерных отходов в одном месте отрицательно сказывается на окружающей среде и влечет за собой нерациональное использование территорий. Кроме того, полимерные отходы слишком медленно

подвергаются деструкции в составе общей массы мусора и формируют сложности при его переработке. Решением проблемы могут стать новые органические биоразлагаемые материалы с контролируемым сроком службы.

Биоразлагаемые пленочные материалы – это такой вид материала, который способен разлагаться без остатка под воздействием микроорганизмов компостной массы в аэробных или анаэробных условиях на простейшие конечные соединения в составе формируемой биомассы. Разработка новых биоразлагаемых материалов на основе композиций растительных полисахаридов, исследование их структуры и свойств не только представляют несо-

мненный теоретический интерес, но и открывают возможности к созданию инновационных перспективных биоразлагаемых экологических композиций.

Для формирования эксплуатационных свойств будущей органической упаковки с хорошими барьерными свойствами учеными предлагается вносить в матрицу материала разные дисперсные системы в виде нагруженных биоактивных эмульсий. Для регулирования свойств водопоглощения в сочетании антимикробными эффектами в составе биоактивной упаковки предлагается использование эмульсионных композиций, нагруженных альгинатом натрия.

Альгинат натрия представляет собой водорастворимую соль альгиновой кислоты, в природе встречается в составе практически всех видов бурых водорослей. Установлено, что альгинат натрия содержит смесь двух уроновых кислот, (1-4)-связанной β -D-маннуроовой кислоты и (1-4)-связанной α -L-гулуруновой кислоты (см. рисунок).

Кроме того, альгинат натрия обладает хорошим свойством сшивания в присутствии многовалентных катионов, таких как кальций, алюминий, марганец в водной среде. Среди известных свойств особенно важными является способность альгината натрия к пленкообразованию, а также его гидроколлоидные свойства, обеспечивающие способность обра-

зовывать гели и стабилизировать эмульсии [1, 9, 10].

Целью данного исследования является изучение влияния эмульсии прямого типа «масло в воде», нагруженной альгинатом натрия, на барьерные свойства биоразлагаемых экоматериалов (пленок).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись биоразлагаемые композитные материалы, полученные при разном содержании эмульсии на основе альгината натрия (1,0; 1,5; 2,0 %). Для получения пленочных материалов в качестве основного сырья использованы картофельный крахмал (нативный) и целлюлоза льняная.

Исследования влияния эмульсионного компонента на основе альгината натрия (ЭКАН) на барьерные свойства пленок проводились на следующих образцах:

Образец 1 – пленка без добавления эмульсии АН.

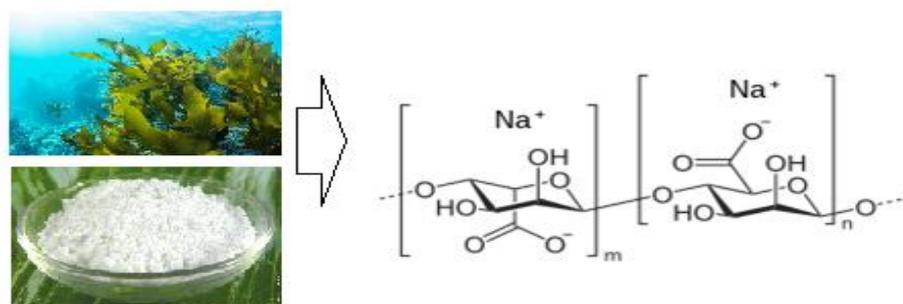
Образец 2 – пленка, концентрация эмульсии АН составляет 1,0 %.

Образец 3 – пленка, концентрация эмульсии АН составляет 1,5 %.

Образец 4 – пленка, концентрация эмульсии АН составляет 2,0 %.

Основные характеристики эмульсии на основе альгината натрия, применяемой в составе пленок, представлены в табл. 1.

Для исследования влияния ЭКАН на



Общий вид исходного сырья и структура альгината натрия *Laminaria*

Основные характеристики эмульсии на основе альгината натрия

Таблица 1

Наименование показателя	Фактические значения
Вязкость, мПа·с	41,5
Стойкость эмульсии, процент не разрушенной эмульсии, %	99
Кислотное число, мг КОН/г	1,40
Перекисное число, моль активного кислорода/кг	3,59
Массовая доля йода, %	0,10

барьерные свойства упаковки и оценки их характеристик в качестве критериев были определены следующие показатели: толщина; содержание воды; растворимость в воде; непрозрачность; паропроницаемость и водопоглощение; определение миграции компонентов в пищевые симуляторы.

Определение толщины. Толщину пленок измеряли с помощью механического микрометра «ТОРЕХ 31с629». Для каждой пленки выполняли по 4 измерения. Затем определяли средний показатель толщины пленки.

Определение содержания воды. Пленки высушивали до постоянной массы при помощи анализатора влажности ЭЛВИЗ-2С. Для каждой пленки выполняли по 4 измерения. Затем определяли среднее арифметическое значение.

Исследование растворимости. Подготовленные высушенные пленки по отдельности помещали в пробирки объемом 10 мл и заполняли 9 мл воды дистиллированной. Пробирки закрывали крышками и хранили при 25 °С в течение 24 ч, после чего пленки вынимали и снова сушили при 110 °С в течение 5 ч, чтобы определить конечную массу сухого вещества.

Определение непрозрачности. Прозрачность (в терминах непрозрачности) пленок определяли с помощью спектрофотометра СФ-56 при длине волны 600 нм в соответствии с процедурой, используемой другими исследователями. Непрозрачность (*Opacity*) рассчитывается по формуле:

$$Opacity = \frac{Abs_{600}}{x},$$

где x – толщина, мм, Abs_{600} – коэффициент поглощения, измеренный при 600 нм. Более низкие значения параметра *Opacity*, как определено в уравнении, подразумевают большую прозрачность [6].

Определение паропроницаемости. Для определения проницаемости водяного пара использовались стеклянные флаконы диаметром 2 см и высотой 4,5 см. На дно каждого флакона помешали 3 г безводного $CaSO_4$. Поверх флаконов помещали исследуемые образцы пленок в виде дисковой формы немного больше диаметра флакона.

Толщина дисковой формы образца составляет $(3,0 \pm 0,2)$ мм, диаметр (50 ± 1) мм. Приготовленные образцы помещались в эксикатор с насыщенным раствором K_2SO_4 . В эксикаторе обеспечивалась постоянная относи-

тельная влажность 97 % при температуре 25 °С. Флаконы с образцами пленки взвешивали каждые 24 часа. Скорость передачи водяного пара (*WVP*) ($gm^{-1}h^{-1}Pa^{-1}$) рассчитывается по формуле:

$$WVP = \frac{WVTR}{P(R_1 - R_2)} X,$$

где *WVTR* – разность между массой флакона с образцом (до погружения и после изъятия); X – толщина исследуемого образца пленки; $P(R_1 - R_2)$ – 3073,93 Па (относительная влажность в эксикаторе) [1, 2].

Определение водопоглощения. Исследование водопоглощения проводилось по ГОСТ 4650-2014.

Определение миграции компонентов в пищевые симуляторы. Исследование миграции компонентов из пленочного материала проводилось в соответствии с действующим законодательством. Выбранными имитаторами были: имитатор А, этанол (10 % в/в, имитирующий гидрофильные пищевые продукты); имитатор В, уксусная кислота (3 % в/в, имитирующий кислые пищевые продукты) и имитатор С, изооктан (имитирующий липофильные пищевые продукты со свободными жирами на поверхности). Образцы пленки погружали в 9 мл имитаторов с контактным соотношением 6 dm^2 пленки на кг имитатора. Исследуемые образцы пленок оставляли в контакте с имитаторами пищевых продуктов в течение 7 дней при 20 °С, после чего образцы были изъятые, высушены и взвешены. Миграция компонентов из пленок в пищевые симуляторы рассчитывалась как разница между начальной и конечной массой, соответствует мг высвобождаемых компонентов пленки/ dm^2 контактной поверхности. Исследование проводилось в трех измерениях.

Результаты и их обсуждение

Для установления влияния эмульсии различного типа «масло в воде» на основе альгината натрия, полученного из бурой арктической водоросли ламинарии, на барьерные свойства будущей биоразлагаемой композитной упаковки и его оптимального количества в матрице материала осуществлялось вариативное встраивание эмульсии (концентрация 1,0; 1,5 и 2,0 %) с дальнейшим исследованием пленочного материала. Все образцы пленок имели одинаковый состав наполнителя, пластификатора, растворителя, кроме самой эмульсии Пикеринга. Приготовленные образцы пленок эластичные, однородные, цвет матовый.

На первом этапе исследования были комплексно оценены образцы биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии альгината натрия по расширенной номенклатуре показателей качества пленок (толщина, содержание воды, растворимость, непрозрачность). Результаты исследований пленок на основе эмульсии АН представлены в табл. 2.

Полученные результаты позволяют говорить о том, что толщина пленочного материала может варьироваться в зависимости от необходимого количества жидкого композита. Наибольшее содержание воды было установлено у образца 3 с добавлением ЭП АН в количестве 1,5 % и составило 37,53 %, в то время как наименьшее содержание воды было выявлено у образца 1 без добавления эмульсии АН и составило 28,47 %. Высокая растворимость наблюдается у образца 2 и составляет 63,48 %. Низкая растворимость обнаружена у образца 1 и составляет 35,63 %. Показатель растворимости иллюстрирует влияние вносимого ингредиента на барьерные свойства материала и его оптимальное количество. Наибольшая непрозрачность наблюдается у образца 2. Наименьшая непрозрачность выявлена у образца 4 с добавлением эмульсии АН в количестве 2,0 %. Стоит отметить, что прозрачность пленок является важной характеристикой, поскольку будущее применение материала – это упаковка для пищевых продуктов.

В зависимости от назначения будущих пленок необходима разная степень прозрачности. Пленки с низкой прозрачностью могут увеличить срок годности некоторых упакованных продуктов, а высокопрозрачные пленки могут снизить антимикробную активность.

На втором этапе исследования для выявления образцов пленок с высокими барьерными свойствами с целью определения влияния эмульсии АН оценивалась паропроницаемая способность. Результаты исследования представлены в табл. 3.

Исходя из данных, представленных в табл. 3, самая высокая паропроницаемость наблюдается у образца 2 (концентрация эмульсии АН 1,0 %). Наименьшая паропроницаемость наблюдается у образца 4 (концентрация эмульсии АН 2,0 %). В процессе инкубации паропроницаемая способность образцов пленок увеличивается. Пленка способна как пропускать, так и задерживать пар в результате разности парциального давления водяного пара по обеим сторонам при одинаковом атмосферном давлении [5].

На третьем этапе исследования у образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии АН оценивалась водопоглощение по ГОСТ 4650-2014 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения». Водопоглощение – это показатель качества, который позволяет определить степень гидро-

Таблица 2
Свойства полученных образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии АН

Объект исследования	Толщина, мм	Содержание воды, %	Растворимость в воде, %	Непрозрачность, A_{600}/mm
Образец 1	0,20 ± 0,05	28,47 ± 0,2	35,63 ± 0,1	2,46 ± 0,1
Образец 2	0,21 ± 0,02	29,73 ± 0,3	63,48 ± 0,2	2,79 ± 0,2
Образец 3	0,22 ± 0,04	37,53 ± 0,2	53,84 ± 0,2	2,56 ± 0,1
Образец 4	0,21 ± 0,02	33,32 ± 0,4	52,88 ± 0,5	2,21 ± 0,2

Таблица 3
Паропроницаемая способность образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии АН, $\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{Pa}^{-1}$

Объект исследования	Паропроницаемость, ($\times 10^{-7} \text{g/m.h.Pa}$)		
	24 часа	48 часов	72 часа
Образец 1	3,09 ± 0,1	3,48 ± 0,1	3,96 ± 0,2
Образец 2	3,23 ± 0,2	4,19 ± 0,1	3,92 ± 0,1
Образец 3	3,53 ± 0,1	3,03 ± 0,2	3,38 ± 0,3
Образец 4	3,60 ± 0,3	4,61 ± 0,3	4,90 ± 0,1

фобности материала. Диффузия влаги в пленку сопровождается уменьшением в нем межмолекулярного взаимодействия. Результаты исследования водопоглощения образцов пленок на основе эмульсии АН представлены в табл. 4.

Самое высокое водопоглощение наблюдается у образца 1 (без внесения эмульсии АН), данный процесс может быть связан с поглощением гидрофильного наполнителя, в то время как самое низкое водопоглощение наблюдается у образца 3 (концентрация эмульсии АН 1,5 %). При увеличении содержания крахмала в пленке увеличивается диффузия влаги в материал. При увеличении концентрации эмульсии АН снижается водопоглощение. При выдерживании материала при температуре от 90 до 95 °С наблюдается разрушение и постепенное растворение пленки [6, 7].

На заключительном этапе исследования у образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии АН оценивалась миграция компонентов в пищевые симуляторы за период инкубации в количестве 7 дней при температуре 20 °С. Результаты определения данного показателя представлены в табл. 5.

Высокие показатели миграции компонентов из образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии АН в пищевые симуляторы наблюдались при погружении в гидрофильные имитаторы (этанол 10 % и уксусная кислота 3 %).

Низкие показатели миграции образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии, нагруженной АН, были выявлены при инкубации в изооктане. Изооктан имитирует продукты с высоким содержанием липидной фракции, возможно со свободными жирами на поверхности. Высокая миграция компонентов в пищевые симуляторы наблюдается у контрольного образца без добавления эмульсии с АН, а более низкая миграция компонентов в пищевые симуляторы выявлена у образца 3 с добавлением эмульсии с АН в количестве 1,5 %. Изучение процессов миграции составных компонентов из пленки позволит контролировать сохранность продукта и оценивать эксплуатационные и технологические свойства материала [3, 4, 8].

Таким образом, результаты исследования показали, что изменение содержания эмульсии прямого типа «масло в воде» на основе альгината натрия в матрице биоразлагаемого

Таблица 4
Определение водопоглощения образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии АН

Наименование образца	Условия проведения исследования водопоглощения			
	при температуре 23 °С			в кипящей воде
	24 ч	48 ч	96 ч	30 мин
Образец 1	55,87 ± 0,2	57,12 ± 0,1	58,85 ± 0,1	Растворился
Образец 2	56,72 ± 0,3	56,52 ± 0,2	58,37 ± 0,2	Растворился
Образец 3	55,93 ± 0,4	55,65 ± 0,2	56,02 ± 0,3	Растворился
Образец 4	58,40 ± 0,2	59,89 ± 0,4	59,12 ± 0,2	Растворился

Таблица 5
Миграция компонентов из исследуемых образцов биоразлагаемого композитного материала на основе эмульсии с АН в пищевые симуляторы

Объект исследования	Миграция компонентов в пищевые симуляторы (мг/дм ²)		
	Этанол (10 %)	Уксусная кислота (3 %)	Изооктан
Образец 1	0,175 ± 0,05	0,268 ± 0,03	-0,0024 ± 0,01
Образец 2	0,195 ± 0,04	0,173 ± 0,02	-0,0020 ± 0,02
Образец 3	0,187 ± 0,07	0,145 ± 0,04	-0,0008 ± 0,02
Образец 4	0,103 ± 0,02	0,265 ± 0,01	-0,0018 ± 0,02

композитного материала позволяет контролировать, а так же регулировать такие показатели качества пленки, как паропроницаемость, водопоглощение и растворимость.

При использовании эмульсии на основе альгината натрия в составе пленки наблюда-

ется улучшение барьерных свойств. Применение эмульсий в составе органической пленки позволит получить широкий ассортимент упаковок для пищевых продуктов с контролируемым сроком эксплуатации, но вместе с тем требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Лонг Ю. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 464 с.
2. Потороко И.Ю. и др. Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 1 / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров, Удей Багале // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2020. Т. 8, № 2. С. 21–28. DOI: 10.14529/food200203
3. Потороко И.Ю. и др. Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 3: Исследование способности к биоразложению / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 1. С. 107–116. DOI: 10.14529/food220112
4. Abdollahi M., Alboofetileh M., Rezaei M., Behrooz R. Comparing physico-mechanical and thermal properties of alginate nanocomposite films reinforced with organic and/or inorganic nanofillers // *Food Hydrocoll.* 2013. Vol. 32. P. 416–424. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.02.006
5. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptrocarpum* Bioss. essential oil // *Food Packaging and Shelf Life.* 2018. Vol. 16. P. 31–40. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.01.012
6. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review // *Food and Bioprocess Technology.* 2012. Vol. 5. P. 2058–2076. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4
7. Curvelo A.A.S., de Carvalho A.J.F., Agnelli J.A.M. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results // *Carbohydrate Polymers.* 2001. Vol. 45. P. 183–188. DOI: 10.1016/S0144-8617(00)00314-3
8. Kim S., Baek S.-K. & Song, K.B. Physical and antioxidant properties of alginate films prepared from *Sargassum fulvellum* with black chokeberry extract // *Food Packaging and Shelf Life.* 2018. Vol. 18. P. 157–163. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.11.008
9. Lu X., Wang Y., Li Y., Huang Q. Assembly of Pickering emulsions using milled starch particles with different amylose/amylopectin ratios // *Food Hydrocolloids.* 2018. Vol. 84. P. 47–57. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.045
10. Nan F., Wu J., Qi F., Liu Y., Ngai T., Ma G. Uniform chitosan-coated alginate particles as emulsifiers for preparation of stable Pickering emulsions with stimulus dependence // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2014. Vol. 456. P. 246–252. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.017

References

1. Long Yu. *Biorazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnovlyaemykh istochnikov* [Biodegradable polymer mixtures and composites from renewable sources]. St. Petersburg, 2013. 464 p.
2. Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Uday Bagale Biodegradable Materials Based on Plant Polysaccharides for Food Packaging. Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 21–28. (In Russ.) DOI: 10.14529/food200203
3. Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Kadi A.M.Y., Botvinnikov N.A., Genzhak Z.Yu. Biodegradable materials based on plant polysaccharides for food packaging. Part 3: Study of biodegradation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 107–116. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220112

4. Abdollahi M., Alboofetileh M., Rezaei M., Behrooz R. Comparing physico-mechanical and thermal properties of alginate nanocomposite films reinforced with organic and/or inorganic nanofillers. *Food Hydrocoll*, 2013, vol. 32, pp. 416–424. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.02.006
5. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of Grammosciadium ptrocarpum Bioss. essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, vol. 16, pp. 31–40. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.01.012
6. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, vol. 5, pp. 2058–2076. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4
7. Curvelo A.A.S., de Carvalho A.J.F., Agnelli J.A.M. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers*, 2001, vol. 45, pp. 183–188. DOI: 10.1016/s0144-8617(00)00314-3
8. Kim S., Baek S.-K. & Song, K.B. Physical and antioxidant properties of alginate films prepared from Sargassum fulvellum with black chokeberry extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 2018, vol. 18, pp. 157–163. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.11.008
9. Lu X., Wang Y., Li Y., Huang Q. Assembly of Pickering emulsions using milled starch particles with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 84, pp. 47–57. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.045
10. Nan F., Wu J., Qi F., Liu Y., Ngai T., Ma G. Uniform chitosan-coated alginate particles as emulsifiers for preparation of stable Pickering emulsions with stimulus dependence. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014, vol. 456, pp. 246–252. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.017

Информация об авторах

Малинин Артем Владимирович, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, aram-chel@mail.ru

Шемек Маруан, Ph.D, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, shemekm@susu.ru

Энтону Мозес Эдаче, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), moentos@yahoo.com

Information about the authors

Artem V. Malinin, Senior laboratory assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, artemmalinin3@gmail.com

Aram V. Tsaturov, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, aram-chel@mail.ru

Marouane Chemek, Doctor of Philosophy, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, shemekm@susu.ru

Moses Edache Entonu, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, moentos@yahoo.com

Статья поступила в редакцию 07.01.2024

The article was submitted 07.01.2024