

## БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ЭКОПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ С АКТИВНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

**А.В. Цатуров**, *aram-chel@mail.ru*

**И.Ю. Потороко**, *potorokoij@susu.ru*

**А.М.Я. Кади**, *ammarka89@gmail.com*

**М. Шемек**, *shemekm@susu.ru*

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

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*

**Аннотация.** На сегодняшний день проблемы продовольственных потерь продуктов питания являются актуальными. Разработка активных пленок и покрытий на их основе открывает новые возможности для пролонгирования сроков хранения для продуктов питания, а также решения глобальных проблем, связанных с неконтролируемым ростом полимерных отходов. Ученые по всему миру разрабатывают инновационные подходы получения пленочного материала на основе органического сырья. За основу для формирования матрицы используют полисахариды (крахмал, пектин и т. д.). В качестве активного ингредиента, обладающего антимикробных эффектом, учеными предлагается использовать хитозан, куркумин, оксид цинка, эфирные масла и т. д. Ингредиенты могут быть использованы как в чистом виде, так и их модификация. Целью данного исследования стало изучение влияния эмульсии Пикеринга, стабилизированной наночастицами оксида цинка при разной концентрации (0,5 и 1,0 %), на функциональные свойства биоразлагаемой активной пленки. В рамках исследования были приготовлены 3 образца активной пленки. В ходе исследования у образцов пленок оценивались такие показатели, как толщина, содержание воды, растворимость в воде, непрозрачность и антиоксидантная активность. В результате обработки экспериментальных данных наилучшие показатели были выявлены у образца 2 при концентрации эмульсии в количестве 1,0 %. При использовании эмульсии на основе наночастиц оксида цинка у образцов активных пленок наблюдается улучшение барьерных свойств и высокая антиоксидантная активность. Применение эмульсии Пикеринга на основе наночастиц оксида цинка в составе пленочного материала позволяет получить широкий ассортимент активных упаковок для пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** биоразлагаемые экоматериалы, оксид цинка, наночастицы, растительные полисахариды, эмульсия Пикеринга, активная упаковка

**Благодарности.** Исследования выполнены при финансовой поддержке программы стратегического лидерства «Приоритет 2030», по стратегическому проекту № 3 «Экосреда постиндустриальной агломерации», подпроект «Биоразлагаемые экоматериалы».

**Для цитирования:** Биоразлагаемые экопленки на основе органического сырья с активными компонентами / А.В. Цатуров, И.Ю. Потороко, А.М.Я. Кади и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 3. С. 40–47. DOI: 10.14529/food230305

Original article  
DOI: 10.14529/food230305

## BIODEGRADABLE ECO-FILMS BASED ON ORGANIC RAW MATERIALS WITH ACTIVE COMPONENTS

A.V. Tsaturov, [aram-chel@mail.ru](mailto:aram-chel@mail.ru)

I.Yu. Potoroko, [irina\\_potoroko@mail.ru](mailto:irina_potoroko@mail.ru)

A.M.Y. Kadi, [ammarka89@gmail.com](mailto:ammarka89@gmail.com)

M. Chemek, [shemekm@susu.ru](mailto:shemekm@susu.ru)

A.V. Malinin, [artemmalinin3@gmail.com](mailto:artemmalinin3@gmail.com)

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** To date, the problems of food losses of food products are relevant. The development of active films and coatings based on them opens up new opportunities for prolonging the shelf life for food, as well as solving global problems associated with the uncontrolled growth of polymer waste. Scientists around the world are developing innovative approaches to obtaining film material based on organic raw materials. Polysaccharides (starch, pectin, etc.) are used as the basis for the formation of the matrix. Scientists suggest using chitosan, curcumin, zinc oxide, essential oils, etc. as an active ingredient with an antimicrobial effect. The ingredients can be used both in their pure form and their modification. The aim of this study was to study the effect of the Pickering emulsion stabilized by zinc oxide nanoparticles at different concentrations (0.5 and 1.0 %) on the functional properties of the biodegradable active film. As part of the study, 3 samples of the active film were prepared. During the study, film samples were evaluated for such indicators as thickness, water content, solubility in water, opacity and antioxidant activity. As a result of processing experimental data, the best indicators were found in sample 2 at an emulsion concentration of 1.0 %. When using an emulsion based on zinc oxide nanoparticles, the samples of active films have improved barrier properties and high antioxidant activity. The use of a Pickering emulsion based on zinc oxide nanoparticles in the film material makes it possible to obtain a wide range of active food packaging.

**Keywords:** biodegradable eco-materials, zinc oxide, nanoparticles, plant polysaccharides, pickering emulsion, active packaging

**Acknowledgments.** The research was carried out with the financial support of the strategic leadership program “Priority 2030”, under the strategic project №. 3 “Eco-environment of post-industrial agglomeration”, the subproject “Biodegradable eco-materials”.

**For citation:** Tsaturov A.V., Potoroko I.Yu., Kadi A.M.Y., Chemek M., Malinin A.V. Biodegradable eco-films based on organic raw materials with active components. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 40–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230305

### Введение

Текущее состояние в решении экологических проблем территорий промышленных городов неуклонно сопряжено с количеством бытовых отходов и поиском практической возможности их сокращения за счет создания альтернативных полимерам биоразлагаемых материалов. Наполнение потребительского рынка большим предложением продуктов питания при снижении уровня их потребления порождает еще одну серьезную проблему при переработке бытовых отходов – присутствие фракции пищевых отходов. Следует понимать, что значительные объемы товарных по-

терь и порча продуктов питания являются не только материальным ущербом, но и бесцельным растрчиванием земельных и водных ресурсов, не оправданным загрязнением окружающей среды. Одним из способов решения данных проблем является разработка биоразлагаемых материалов для упаковки пищевых продуктов на основе органического сырья с активными компонентами.

Упаковки, обладающие полной биодegradацией в компосте, фрагментируются на безопасные вещества, такие как биомасса, углекислый газ, вода. Относительно пищевой индустрии просматривается реальная необхо-

димось разработку нового типа активных биоразлагаемых материалов, способных решать множественные задачи, в числе которых эффективное использование вторичного сырья АПК и сохранение продовольствия. Биоразлагаемая активная упаковка – это усовершенствованная система материалов, контактирующих с пищевым продуктом, способных продлить сроки годности, контролировать свежесть, обеспечивать безопасность и удобство, 100 % биоразлагаемая в компостных системах. В качестве научных подходов для получения таких упаковочных систем в большинстве научных исследований предлагается использование методов поэтапного смешивания ингредиентов с последующим термическим воздействием, экструзией, применение электрофизических методов воздействия и т. д.

Весьма перспективным сырьем для разработок новых экоматериалов являются возобновляемые природные биополимеры, в том числе вторичные ресурсы агропромышленного перерабатывающего комплекса. Так, для формирования матрицы биоразлагаемых материалов широкое применение находят полисахариды (крахмал, пектин и т. д.). В качестве активного компонента, обладающего антимикробным эффектом, предлагается внесение куркумина, оксида цинка, эфирных масел и других, известных компонентов с доказанной активностью. Следует отметить, что активные добавки могут быть использованы как в исходном состоянии, так и в модифицированной форме [1, 2].

Для обеспечения функциональных свойств биоразлагаемой активной упаковки учеными предлагается вносить в матрицу материала диспергированные с помощью ультразвука комплексы в виде эмульсий. Перспективны для этих целей эмульсии Пикеринга (ЭП), так как в их составе могут присутствовать разные виды частиц, что определяет возможность целенаправленно регулировать показатель водопоглощения и обеспечивать антимикробные свойства готового пленочного материала. В эмульсиях, полученных по технологии Пикеринга, частицы сосредоточены на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, обычно обозначаемых как «масляная» и «водная» фазы, предотвращают коалесценцию эмульсии [6]. В качестве активных частиц для получения эмульсии Пикеринга, применимой для биоразлагаемой упаковки, в числе преимущественных могут

использоваться антиоксиданты и антисептики, в том числе предлагаются твердые частицы оксида цинка (ZnO). Оксид цинка – аморфное органическое соединение, состоящее из атомов цинка и кислорода, по внешнему виду белый порошок, не имеющий запаха и вкуса. Плотность оксида цинка составляет 5,6 г/см<sup>3</sup>, а температура плавления на уровне 1975 °С.

Оксид цинка обладает комплексом доказанных биологических свойств, важных для организма человека. Прежде всего цинк участвует во многих биохимических процессах, включая рост и развитие организма, укрепление иммунной системы, синтез гормонов и белков, а также обладает антисептическими, противовоспалительными, адсорбирующими и защитными свойствами [5]. Наночастицы оксида цинка обладают более высокой стабильностью и соотношением поверхности к объему по сравнению с органическими антибактериальными средствами. Например, композиция наночастиц оксида цинка и эвгенол в крахмальных пленках оказывают синергетический антибактериальный эффект [4, 7, 13].

Наночастицы оксида цинка (НЧ ZnO) традиционно синтезируют как физическими, так и химическими методами, такие как реакция цинка со спиртом, перенос паров, гидротермальный синтез, метод осаждения и т. д. Однако эти методы имеют различные недостатки из-за использования условий высокой температуры и давления, а также использования токсичных химических веществ [11].

Имеются данные о применении НЧ ZnO в материалах для упаковки пищевых продуктов, и сообщалось о различных матрицах и способах включения ZnO в эти матрицы. ZnO включен в матрицу упаковки и может взаимодействовать с пищевыми материалами, обеспечивая эффект консервирования [6].

По данным Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США, ZnO вместе с другими четырьмя соединениями цинка внесены в список общепризнанных безопасных (GRAS) материалов [14]. В этой связи применение данных частиц в технологии пленочных материалов для упаковки пищевых систем весьма перспективно.

*Цель данного исследования* – изучение влияния эмульсии Пикеринга, стабилизированной наночастицами оксида цинка, на

функциональные свойства биоразлагаемой активной пленки.

#### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись пленочные материалы, полученные при внесении эмульсии Пикеринга (ЭП), стабилизированной ZnO в количестве 0,5; 1,0 % к объему.

Для получения пленочных материалов в качестве основного сырья использованы нативный картофельный крахмал (КК) и альгината натрия (Alg-Na) в соотношении КК:Alg-Na – 5,0:0,5, установленное опытным путем в ходе рекогносцировочных исследований.

Для наполнителя матрицы пленок использовали эмульсии Пикеринга, стабилизированные наночастицами оксида цинка (НЧ ZnO), полученные на основе применения в качестве воздействующего фактора низкочастотного ультразвука в режимах, установленных экспериментально. Размерные характеристики и микроскопия эмульсии Пикеринга с НЧ ZnO, применяемые в рецептуре образцов биоразлагаемых активных пленок, представлены на рис. 1.

Для основной части исследования были получены наливным методом следующие образцы пленочных материалов:

*Контроль* – пленка на основе КК и Alg-Na без наполнителя;

*Образец 1* – пленка на основе КК и Alg-Na с НЧ ZnO (0,5 %);

*Образец 2* – пленка на основе КК и Alg-Na с НЧ ZnO (1,0 %).

Для исследования влияния эмульсии Пикеринга, стабилизированной наночастицами оксида цинка, на свойства биоразлагаемых активных пленок и оценки их характеристик в качестве критериев были определены следующие показатели:

- толщина;
- содержание массовой доли влаги;
- растворимость в воде;
- непрозрачность;
- антиоксидантная активность.

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

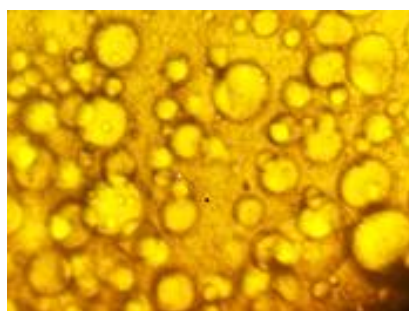
*Определение содержания массовой доли влаги.* Пленки высушивали до постоянной массы при помощи анализатора влажности ЭЛВИЗ-2С. Для каждой пленки выполняли по 4 измерения. Затем определяли среднее арифметическое значение.

*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.

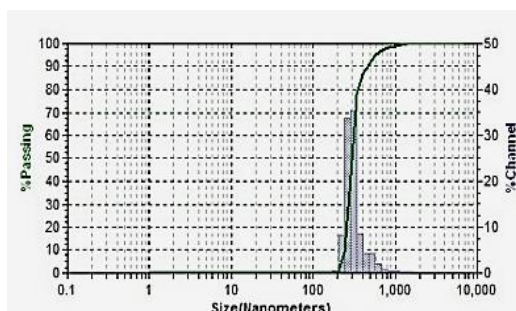
*Определение непрозрачности.* Прозрачность (в терминах непрозрачности) пленок определяли с помощью спектрофотометра СФ-56 при длине волны 600 нм в соответствии с процедурой, используемой другими исследователями. Непрозрачность (Opacity) рассчитывается по формуле:

$$\text{Opacity} = \frac{\text{Abs}_{600}}{x},$$

где  $x$  – толщина, мм, а  $\text{Abs}_{600}$  – коэффициент поглощения, измеренный при 600 нм. Более низкие значения параметра Opacity, как определено в уравнении, подразумевают большую прозрачность [3].



а)



б)

Peaks		
Dia(nm)	Vol%	Width
298.6	100.0	119.00

в)

Рис. 1. Размерные характеристики эмульсии Пикеринга с НЧ ZnO:  
а) микроскопия (увеличение x100); б) и в) nanoParticles Size Analysis

*Определение антиоксидантной активности.* Антиоксидантную активность определяли спектрофотометрически при 515 нм путем определения поглощающей способности свободного радикала 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH).

**Результаты и обсуждения**

В ходе исследования был получен массив данных в соответствии с установленной выше номенклатурой показателей. По внешнему виду пленки не имели значительных различий: однородные по структуре, слегка матовые, эластичные при натяжении, так как легко восстанавливали исходное состояние. Визуальное восприятие было дополнено оптическим исследованием (микроскопией) (табл. 1).

Представленные микрофотографии поверхности исследуемых образцов биоразлагаемых активных пленок с добавлением ЭП с наполнителем НЧ ZnO свидетельствуют о том, что у образца 2 (концентрация НЧ ZnO

1,0 %) поверхность более однородная, без видимых дефектов поверхности, наблюдается в матрице материала встроенная эмульсия, стабилизированная твердыми частицами оксида цинка.

Результаты исследования показывают, что у образца 1 (концентрация НЧ ZnO 0,5 %) наблюдаются на поверхности, помимо встроенных частиц эмульсии, крахмальные частицы в виде уплотнений. Повышение в составе ЭП количества НЧ ZnO позволяет скорректировать структуру будущей активной упаковки, делая ее более однородной по структуре.

На втором этапе исследования были комплексно оценены образцы биоразлагаемых активных пленок (БАП) на основе ЭП с наполнителем НЧ ZnO по расширенной номенклатуре показателей (толщина, содержание воды, растворимость, непрозрачность). Результаты исследований образцов биоразлагаемых

**Таблица 1**

**Внешний вид и микрофотографии поверхности исследуемых образцов биоразлагаемых активных пленок на основе эмульсии Пикеринга наполненной НЧ ZnO**

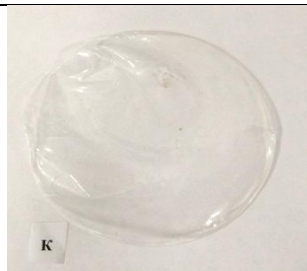

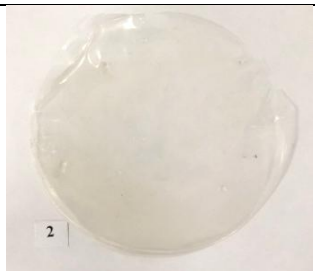
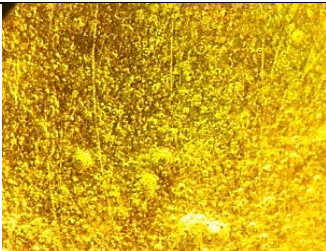

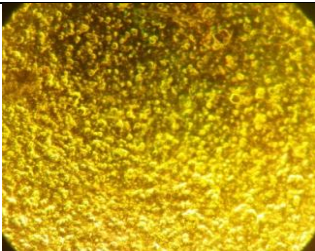
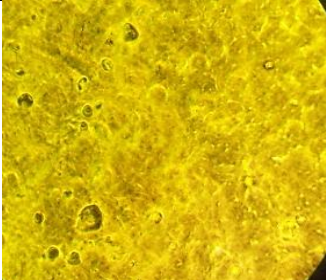
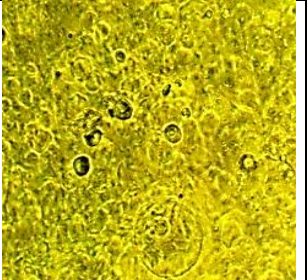
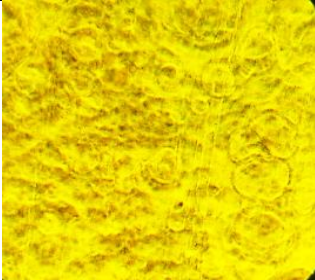
	Наименование образца		
	Контроль	Образец 1	Образец 2
Внешний вид			
Оптическая микроскопия			
Увеличение ×40			
Увеличение ×100			

Таблица 2  
Результаты исследования свойств образцов БАП с включением ЭП, наполненных НЧ ZnO

Объект исследования	Толщина (мм)	Содержание воды (%)	Растворимость в воде (%)	Непрозрачность (A600/mm)
Контроль	0,20 ± 0,1	12,30 ± 0,2	41,87 ± 0,2	0,2594
Образец 1	0,19 ± 0,1	10,19 ± 0,1	45,70 ± 0,4	0,2609
Образец 2	0,22 ± 0,1	9,49 ± 0,2	41,15 ± 0,3	0,2650

активных пленок представлены в табл. 2.

Полученные результаты исследований позволяют говорить о том, что толщина пленочного материала варьирует незначительно от (0,19 ± 0,1) мм до (0,22 ± 0,1) мм, что обусловлено несовершенством используемого наливного метода. Наибольшее содержание воды было установлено у контрольного образца и составило 12,30 %, в то время как наименьшее содержание воды было выявлено у образца 2 в присутствии ЭП с НЧ ZnO (1,0 %).

В исследованиях установлено, что высокая растворимость наблюдается у образца 1 с НЧ ZnO (0,5 %) и составляла 45,70 %, в то же время растворимость у образца 2 значительно ниже и составляет 41,15 %. Показатель растворимости показывает влияние вносимых компонентов на барьерные свойства материала. При инкубации в водной среде, нагретой до температуры 80 °С, наблюдается полное растворение всех образцов пленок. Наибольшая непрозрачность фиксируется у образцов, содержащих ЭП, в сравнении с контролем. Необходимо отметить, что прозрачность пленочных материалов является важным показателем, поскольку предлагается их применение в качестве упаковки для пищевых продуктов и возможно некоторое искажение визуального облика продукта. Однако пленочный материал с низкой прозрачностью (НЧ ZnO 1,0 %) может быть применен для пролонгирования сроков годности благодаря антимикробной активности.

На заключительном этапе исследования у образцов биоразлагаемых активных пленок оценивалась антиоксидантная активность методом DPPH. Под антиоксидантной активностью понимается способность веществ частично или полностью ингибировать процессы окисления. Результаты исследования представлены на рис. 2.

Результаты показывают, что встраивание ЭП, наполненных НЧ ZnO, в матрицу БАП позволяет повысить их антиоксидантную активность. Наибольшая антиоксидантная активность была выявлена у образца 2 при встраивании ЭП с НЧ ZnO (1,0 %) [8, 10, 12].

Для раскрытия механизмов влияния ЭП на основе наночастиц оксида цинка на процессы биодegradации необходимо продолжить исследования опытных образцов активных пленок по расширенной номенклатуре показателей.

#### Выводы по результатам работы

Таким образом, результаты исследования доказали, что использование эмульсии Пикеринга на основе наночастиц оксида цинка в матрице биоразлагаемой активной упаковки позволяет регулировать показатели: растворимость, антиоксидантная активность и т. д.

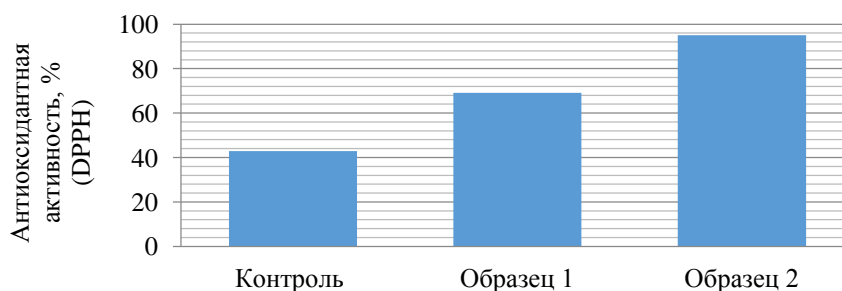


Рис. 2. Результаты определения антиоксидантной активности (DPPH) образцов БАП с включением ЭП, наполненных НЧ ZnO

При использовании ЭП на основе наночастиц оксида цинка у образцов пленок наблюдается улучшение барьерных свойств и высокая антиоксидантная активность. Применение эмульсий Пикеринга с активными стабилизи-

рующими частицами в матрице активных пленок и покрытий на их основе позволит получить экоматериалы нового типа для упаковки пищевых продуктов.

### Список литературы / References

1. Лонг Ю. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 464 с. [Long Yu. *Biorazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnovlyaemykh istochnikov* [Biodegradable polymer mixtures and composites from renewable sources]. St. Petersburg, 2013. 464 p.]
2. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptoocarpum* Bioss. essential oil. *Food Packaging and Shelf Life* 16, (2018), pp. 31–40. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.01.012
3. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology* 5, (2012) 2058–2076.
4. Aswathy Jayakumar, Heera K.V., Sumi T.S., Meritta Joseph, Shiji Mathew, Praveen G., Indu C. Nair, Radhakrishnan E.K. Starch-PVA composite films with zinc-oxide nanoparticles and phytochemicals as intelligent pH sensing wraps for food packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, vol. 136, pp. 395–403. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.018
5. Chemek, M.; Kadi, A.; Merenkova, S.; Potoroko, I.; Messaoudi, I. Improving Dietary Zinc Bioavailability Using New Food Fortification Approaches: A Promising Tool to Boost Immunity in the Light of COVID-19. *Biology* 2023, 12, 514. DOI: 10.3390/biology12040514
6. Espitia P.J.P., Soares N.F.F., Coimbra J.S.R., de Andrade N.J., Cruz R.S., Medeiros E.A.A. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food Bioprocess Technol.*, 5, 2012, pp. 1447–1464.
7. Junfeng Cheng, Hualin Wang. Construction and application of nano ZnO/eugenol@yam starch/microcrystalline cellulose active antibacterial film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 239(12):124215. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124215
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, 18, 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. Swarup Roy, Jong-Whan Rhim. Carboxymethyl cellulose-based antioxidant and antimicrobial active packaging film incorporated with curcumin and zinc oxide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 148, pp. 666–676. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.01.204
11. Sabir S., Arshad M., Chaudhari S.K. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. *Sci. World J.*, 2014, pp. 1–8.
12. Wenbao Chen, Xuyan Liu, Yangshuo Liu, Hyung-II Kim. Synthesis of microcapsules with polystyrene/ZnO hybrid shell by Pickering emulsion polymerization. *Colloid and Polymer Science*, 2010, vol. 288, pp. 1393–1399.
13. Yana Li, Zenghui Li, Yuwen Wang, Liangbo Sun, Houchang Pei. Anthocyanins/chitosan films doped by nano zinc oxide for active and intelligent packaging: comparison of anthocyanins source from purple tomato or black wolfberry. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 2023, vol. 17, pp. 704–715.
14. FDA (*Food and Drug Administration*). Washington DC, USA, 2015. Select Committee on GRAS Substances (SCOGS) Opinion: Zinc Salts. URL: <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/SCOGS/ucm261041.htm> (accessed 25.08.16).

*Информация об авторах*

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

**Потороко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, potoroiko@susu.ru

**Кади Аммар Мохаммад Яхья**, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ammarka89@gmail.com

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

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

*Information about the authors*

**Aram V. Tsaturov**, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

**Irina Yu. Potoroko**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, potoroiko@susu.ru

**Ammar M.Y. Kadi**, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ammarka89@gmail.com

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

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

*Статья поступила в редакцию 16.06.2023*

*The article was submitted 16.06.2023*