

Научная статья

УДК 664:621:798

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-181-187

**Роман Владимирович Крюк<sup>1</sup>, Марина Геннадьевна Курбанова<sup>2</sup>,  
Василий Викторович Матюшев<sup>3</sup>, Ирина Владимировна Буянова<sup>4</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

<sup>3</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>roman.kryuk.94@mail.ru

<sup>2</sup>kurbanova-mg@mail.ru

<sup>3</sup>don.matyusheff2015@yandex.ru

<sup>4</sup>ibuyanova\_@mail.ru

### **ЭФФЕКТИВНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В РАЗВИТИИ УПАКОВОЧНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

*Цель работы – изучение функционально-технологических свойств современных и перспективных видов тароупаковочных материалов, признанных в мировом пространстве как биологически безопасных для потребителя, хорошо сохраняющих качество, экологически безопасных для окружающей среды и информационны. Задачи: на базе функционально-технологических свойств провести аналитический обзор перспективных видов тароупаковочных материалов, определяя возможность сохранять их наилучшие показатели качества и увеличивать хранимоспособность пищевых продуктов, осуществлять функции контроля в процессе хранения и информирования потребителя, обладать биоразлагаемостью, быть экологически безопасными, поддерживая экологическое равновесие в природе. Объектами научного обзора являлась общедоступная научная информация, представленная в базах данных PubMed от National Center for Biotechnology Information (США), Elsevier (Scopus, ScienceDirect), на платформе Web of Science и отечественной электронной библиотеке eLibrary.ru. Глубина поиска составляла 10 лет. В ходе литературного поиска установили роль биоразлагаемых полимеров в решении проблемы безопасности окружающей среды с рекомендациями сочетания биополимеров с синтетическими полимерами для производства биологической упаковки. Изучали свойства биоразлагаемых упаковочных материалов, достоинством которых является способность разлагаться под действием внешней среды и сохранять гарантированное качество продуктов до момента их реализации. Изложены принципы и научные подходы по применению биополимеров в производстве биоразлагаемых материалов. Многообразие существующих биоразлагаемых пленок позволит очистить экосистему от загрязнения и полностью перейти на интеллектуальную биоразлагаемую упаковку.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная упаковка, пищевые продукты, полимеры, пленка, нанокompозит

**Для цитирования:** Эффективные инновационные решения в развитии упаковочных систем для пищевых продуктов / Р.В. Крюк [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 181–187. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-181-187.

**Roman Vladimirovich Kryuk<sup>1</sup>, Marina Gennadievna Kurbanova<sup>2</sup>,  
Vasily Viktorovich Matyushev<sup>3</sup>, Irina Vladimirovna Buyanova<sup>4</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

<sup>3</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>roman.kryuk.94@mail.ru

<sup>2</sup>kurbanova-mg@mail.ru

<sup>3</sup>don.matyusheff2015@yandex.ru

<sup>4</sup>ibuyanova\_@mail.ru

## EFFECTIVE INNOVATIVE SOLUTIONS IN DEVELOPING PACKAGING SYSTEMS FOR FOOD PRODUCTS

*The purpose of research is to study the functional and technological properties of modern and promising types of packaging materials recognized in the world space as biologically safe for the consumer, well-preserving quality, environmentally friendly and informational. Objectives: on the basis of functional and technological properties, to conduct an analytical review of promising types of packaging materials, determining their ability to maintain the best quality indicators and increase the storage capacity of food products, exercise control functions during storage and inform the consumer, be biodegradable, be environmentally friendly, maintaining ecological balance in nature. The objects of the scientific review were publicly available scientific information presented in the PubMed databases from the National Center for Biotechnology Information (USA), Elsevier (Scopus, ScienceDirect), on the Web of Science platform and the domestic electronic library eLibrary.ru. The search depth was 10 years. A literature search established the role of biodegradable polymers in solving the problem of environmental safety with recommendations for combining biopolymers with synthetic polymers for the production of biological packaging. We studied the properties of biodegradable packaging materials, the advantage of which is the ability to decompose under the influence of the external environment and maintain the guaranteed quality of products until they are sold. The principles and scientific approaches to the use of biopolymers in the production of biodegradable materials are outlined. The variety of existing biodegradable films will make it possible to cleanse the ecosystem of pollution and completely switch to intelligent biodegradable packaging.*

**Keywords:** *intelligent packaging, food products, polymers, film, nanocomposite*

**For citation:** Effective innovative solutions in developing packaging systems for food products / R.V. Kryuk [at al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(4): 181–187. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-181-187.

**Введение.** Большинство синтетических полимеров нефтяного происхождения, таких как полиолефины, нейлоны, полистирол и т.д., устойчивы к биологическому разложению, а их углеродные соединения не разрушаются ферментами микроорганизмов. Гидрофобность и низкая площадь поверхности полимеров по сравнению с их высокой молекулярной массой делают синтетические полимеры устойчивыми к воздействию ферментов микроорганизмов [1]. Биоразлагаемые полимеры – это полимеры, разлагаемые в окружающей среде. Биополимеры, которые используются в упаковочной промышленности, можно разделить на четыре категории в зависимости от химической структуры: белки, содержащиеся в кукурузной шелухе, глютенине, желатине, коллагене, мясной миофибрилле, молоке; полисахариды, целлюлоза и ее производные, такие как метилцеллюлоза и карбоксиметилцеллюлоза, крахмал и его производные, пектиновые соединения, хитин и хитозан, камеди, такие как альгинат, каррагинан, ксантан; липиды, содержащиеся в растительном и животном сырье, воски, производные глицеридов; полиэферы, такие как полимолочная кислота и т.д. [2].

Биополимеры в сочетании с синтетическими полимерами или без них используются для производства биологической упаковки. Биопакеты, изготовленные из чистых биополимеров, обладают более высокой способностью к биоразложению, чем композитные пленки, но их механическое качество ниже. Биопакеты можно разделить на съедобные и несъедобные по усвояемости. Нанокompозиты – наиболее широко используемые материалы в нанотехнологиях для упаковки пищевых продуктов [3]. Нанокompозиты состоят из полимеров, содержащих нанонаполнители с высоким отношением поверхности к объему. Основной целью использования нанокompозитов в упаковочной промышленности является повышение барьерных свойств (непроницаемости), эти упаковки обладают более высокой физической прочностью, лучшими тепловыми свойствами (температура плавления, температура прохождения стекла).

**Цель исследований** – анализ существующих типов интеллектуальных упаковок, их функциональных свойств, использования в качестве фактора увеличения хранимоспособности пищевых продуктов [3].

**Объекты и методы.** Объектом исследований является общедоступная научная информация, поиск которой осуществлялся в базах данных PubMed от National Center for Biotechnology Information (США), Elsevier (Scopus, ScienceDirect), на платформе Web of Science и отечественной электронной библиотеке eLibrary.ru. Глубина поиска составляла 10 лет, язык поиска – английский и русский.

**Результаты и их обсуждение.** Съедобные пленки представляют собой тонкий слой биополимерного материала толщиной менее 250 мкм, который помещается на поверхность или между пищевыми компонентами и действует как барьер против переноса материалов (влаги, жира и газов) [4]. Эти пленки защищают продукт от роста микроорганизмов и механических ударов и помогают улучшить внешний вид, качество и долговечность продукта. Пищевые пленки задерживают обмен влаги между пищевым продуктом и окружающей средой, а также между компонентами пищи внутри упаковки, что предотвращает ухудшение качества текстуры пищевых продуктов, порчу и сохраняет экономическую ценность продукта. Упаковочные пленки уменьшают обмен дыхательных газов (кислорода и  $\text{CO}_2$ ) между окружающей средой и пищевыми продуктами. Механическое повреждение может усугубить микробную и химическую порчу (особенно ферментативное потемнение фруктов) [4]. Преимущество использования разлагаемых пластиков в упаковочной промышленности заключается в том, что в течение их срока службы, по прошествии определенного периода времени, они превращаются микроорганизмами в такие натуральные продукты, как  $\text{CO}_2$ , вода, этан и биомасса. Биоразлагаемые пленки могут защитить пищевые продукты от химических, физических и механических повреждений. Кроме того, эти материалы можно легко использовать для микрокапсулирования ароматообразующих соединений [3, 4].

*Нанокompозит* – это композитный материал, в котором по крайней мере одна из составляющих его фаз имеет наноразмеры (от 1 до 100 нм). Нанокompозиты – это новые альтернативы традиционным методам улучшения свойств полимеров. Нанокompозиты в настоящее время используются для упаковки безалкогольных напитков и пищевых продуктов из-за их

улучшенных термических, прочностных и электропроводных свойств [5]. Нанокompозиты состоят из двух основных частей: матрицы и наполнителя. Матрица состоит из одного или нескольких соединений, которые в зависимости от природы матрицы подразделяются на полимерные, керамические и металлические нанокompозиты. Полимерные нанокompозиты сейчас широко используются в качестве новых материалов в промышленности. Кроме того, традиционные композиты непрозрачны и имеют неподходящую поверхность, и эти неподходящие свойства в значительной степени устранены в полимерных нанокompозитах [5, 6].

#### *Интеллектуальная и активная упаковка*

Умная упаковка относится к типу упаковки, которая содержит интеллектуальные агенты, такие как детекторы, датчики и трекеры, для передачи информации о качестве пищевых продуктов и помощи в принятии решений по повышению безопасности, улучшению качества, сбору информации и предупреждению о пищевых проблемах. Датчики и маркеры способны измерять физические, химические или биологические переменные, и среди них газовые сенсоры и биосенсоры широко используются в индустрии упаковки пищевых продуктов [6].

В основе активной упаковки лежит использование внутренних свойств полимеров или размещение в них специальных материалов. Активный агент можно добавлять в упаковочную пленку или размещать на поверхности и внутри ее многослойной структуры. Активный агент также можно использовать внутри небольших упаковок как этикетку или на крышке бутылок [6]. К наиболее важным активным системам относятся системы адсорбции кислорода, системы выделения и адсорбции диоксида углерода, регулирование влажности, высвобождение антиоксидантов и антимикробных препаратов, высвобождение или абсорбция ароматизирующих веществ и запахов. Фактически активная упаковка относится к упаковке, которая, помимо преимуществ традиционной упаковки в качестве новой упаковки, изменяет условия упаковки, чтобы продлить срок годности или улучшить безопасность и сенсорные свойства пищевого продукта при сохранении его качества (рис 1).



Рис. 1. Классификация умной и активной упаковки

#### Биоразлагаемые пленки в умной упаковке

**Хитозан** – это полиненасыщенный полимер, состоящий из звеньев глюкозамина и N-ацетилглюкозамина. Хитозан получают в результате децелирования хитина [7]. Этот катионный полимер является вторым по важности полисахаридом в природе после целлюлозы, обладает антиоксидантными свойствами и способен образовывать биоразлагаемые пленки. Антимикробные свойства хитозана обусловлены положительно заряженными аминогруппами. Хитозановая пленка имеет умеренную водопроницаемость и хорошее ингибирование кислорода. Пленки из хитозана также прочные, гибкие, прозрачные и жаростойкие. Этот полимер также используется в композитах с различными химическими и растительными пигментами для интеллектуальной упаковки пищевых продуктов [7].

#### Изолят сывороточного протеина (WPI)

Сывороточные белки используются в качестве добавки в виде концентрата сывороточного протеина (WPC) или изолята сывороточного протеина (WPI) во многих обработанных пищевых продуктах, таких как кондитерские изделия, хлебобулочные изделия, мороженое и детское питание. Концентрированный сывороточный белок обычно содержит 30–70 % белка, а изолят сыво-

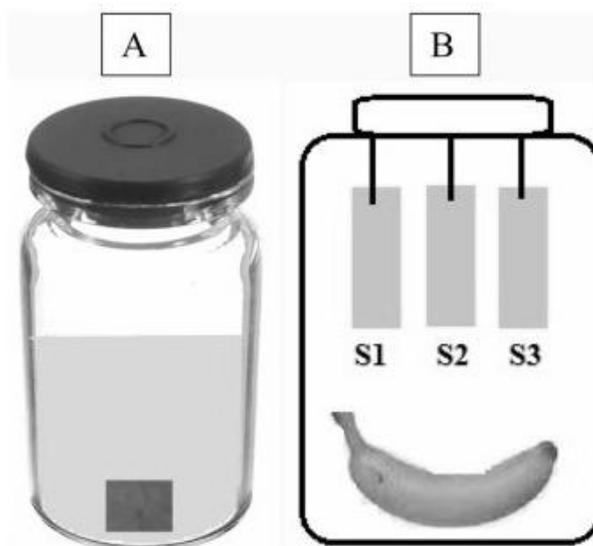
роточного белка содержит не менее 90 % белка [8]. Пищевые пленки на основе сывороточного протеина безвкусны, без запаха, гибкие, прозрачные и полупрозрачные в зависимости от рецептуры. Все эти особенности делают их пригодными для использования в активной и интеллектуальной упаковке. Были проведены многочисленные исследования изолированного потенциала сывороточного протеина в качестве упаковочного материала в виде пленок и покрытий [8].

#### Съедобные и несъедобные пленки в интеллектуальной упаковке

Важный вопрос, связанный с использованием индикаторов в упаковке пищевых продуктов, заключается в том, контактируют ли эти индикаторы с пищевым продуктом (внешняя упаковочная пленка) или нет прямого контакта между пищевым продуктом и индикатором (внутренняя упаковочная пленка) [9]. Исходя из этого, показатели делятся на две части. Первая часть – это полностью органические и съедобные индикаторы, все компоненты индикатора съедобны и нет ограничений на использование этих индикаторов в пищевой упаковке. Эти типы индикаторов могут использоваться в упаковке пищевых продуктов только при отсутствии прямого контакта между детектором и продуктами питания [9, 10].

В качестве примера интеллектуальной упаковки, в которой индикатор (в виде съедобной пленки) находится в прямом контакте с пищей, использовали съедобную пленку пигмента хлорофилла, содержащего пшеничный глютен в качестве индикатора срока годности кунжутного масла. В этой упаковке индикатор находился в непосредственном контакте с кунжутным маслом и показывал срок годности кунжутного масла, изменяя цвет с зеленого на желтый [9, 10].

На рисунке 2, А показана интеллектуальная упаковочная система с индикатором (пшеничный глютен, содержащий хлорофилл) при контакте с пищевыми продуктами (кунжутным маслом). Кроме того, в качестве примера интеллектуальной упаковки, в которой детектор (как несъедобная пленка) не имеет прямого отношения к продуктам питания, использовали индикатор несъедобного этилена для оценки срока годности бананов.



*Рис. 2. Интеллектуальная система упаковки:*

*А – с индикатором, находящимся в прямом контакте с пищевыми продуктами;  
В – интеллектуальная система упаковки с детектором без прямого контакта с пищевыми продуктами*

По мнению ученых, индикатор этилена не находился в прямом контакте с пищевыми продуктами, а выделяющийся из банана газообразный этилен изменил цвет индикатора и использовался для оценки срока хранения банана. На рисунке 2, В показана интеллектуальная упаковочная система с индикатором (целлюлоза, содержащая перманганат) без прямого контакта с пищей (банан) [9].

**Заключение.** Интеллектуальные системы упаковки обеспечивают безопасность пищевых продуктов, информируя розничных продавцов и конечных пользователей о потенциальных проблемах с пищевыми продуктами во время транспортировки и хранения, а также гарантируют безопасность пищевых продуктов для клиентов. Исследования в настоящее время сосредоточены на возобновляемых органических и

натуральных материалах для использования в качестве нанокompозитных биоматериалов в упаковке пищевых продуктов. Эти натуральные материалы могут решить проблемы безопасности. В целом умная упаковка помогает повысить безопасность, качество, долговечность, подлинность, отслеживаемость и стабильность пищевых продуктов. Несомненно, использование интеллектуальной упаковки – это новые подходы в упаковочном секторе. В ближайшей перспективе инновационные технологии упаковочных материалов найдут применение в отраслях.

#### **Список источников**

1. *Andretta R., Luchese C.L., Tessaro I.C., & Spada J.C. (2019). Development and characterization of pH-indicator films based on cassa-*

- va starch and blueberry residue by thermo-compression. *Food Hydrocolloids*, 93, 317–324.
2. Arfat Y.A., Ejaz M., Jacob H., & Ahmed J. (2017). Deciphering the potential of guar gum/Ag-Cu nanocomposite films as an active food packaging material. *Carbohydrate. Polymers*, 157, 65–71.
  3. Costa C., Antonucci F., Pallottino F., Aguzzi J., Sarria D. & Menesatti P. (2013). A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 353–366.
  4. Dai L., Zhang J. & Cheng F. (2019). Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 897–905.
  5. Dobrucka R. & Cierpiszewski R. (2014). Active and intelligent packaging food-research and development: a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(1).
  6. Domínguez R., Barba F.J., Gomez B., Putnik P., Kováčević D.B., Pateiro M. & Lorenzo J.M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: a review. *Food Research International*, 113, 93–101.
  7. Almendarez B.E., Calderón-Domínguez G., Mendez-Mendez J.V., Regalado-Gonzalez C. (2019). Effect of transglutaminase cross-linking in protein isolates from a mixture of two quinoa varieties with chitosan on the physicochemical properties of edible films. *Coatings*, 9 (11), 736.
  8. Escamilla-García M., Reyes-Basurto A., García-Almendarez B.E., Hernández-Hernández E., Calderón-Domínguez G., Rossi-Márquez G. & Regalado-Gonzalez C. (2017). Modified starch-chitosan edible films: Physicochemical and mechanical characterization. *Coatings*, 7(12), 224.
  9. García A., Perez L.M., Piccirilli G.N. & Verdini R.A. (2020). Evaluation of antioxidant, antibacterial and physicochemical properties of whey protein-based edible films incorporated with different soy sauces. *LWT*, 117, Article 108587.
  10. Ge Y., Li Y., Bai Y., Yuan C., Wu C. & Hu Y. (2020). Intelligent gelatin/oxidized chitin nanocrystals nanocomposite films containing black rice bran anthocyanins for fish freshness monitorings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1296–1306.
  11. Genskowsky E., Puente L.A., Pérez-Alvarez J.A., Fernández-Lopez J., Muñoz L.A. & Viuda-Martos M. (2015). Assessment of antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *LWT- Food Science and Technology*, 64(2), 1057–1062.

## References

1. Andretta R., Luchese, C.L., Tessaro I.C. & Spada J.C. (2019). *Development and characterization of pH-indicator films based on cassava starch and blueberry residue by thermo-compression. Food Hydrocolloids*, 93, 317–324.
2. Arfat Y.A., Ejaz M., Jacob H. & Ahmed J. (2017). Deciphering the potential of guar gum/Ag-Cu nanocomposite films as an active food packaging material. *Carbohydrate. Polymers*, 157, 65–71.
3. Costa C., Antonucci F., Pallottino F., Aguzzi J., Sarria D. & Menesatti P. (2013). A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 353–366.
4. Dai L., Zhang J. & Cheng F. (2019). Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 897–905.
5. Dobrucka R. & Cierpiszewski R. (2014). Active and intelligent packaging food-research and development: a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(1).
6. Domínguez R., Barba F.J., Gomez B., Putnik P., Kováčević D.B., Pateiro M. & Lorenzo J.M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: a review. *Food Research International*, 113, 93–101.
7. Almendarez B.E., Calderón-Domínguez G., Mendez-Mendez J.V., Regalado-Gonzalez C. (2019). Effect of transglutaminase cross-linking in protein isolates from a mixture of two quinoa varieties with chitosan on the physico-

- chemical properties of edible films. *Coatings*, 9 (11), 736.
8. Escamilla-García M., Reyes-Basurto A., García-Almendarez B.E., Hernández-Hernández E., Calderón-Domínguez G., Rossi-Márquez G. & Regalado-González C. (2017). Modified starch-chitosan edible films: Physicochemical and mechanical characterization. *Coatings*, 7(12), 224.
  9. García A., Pérez L.M., Piccirilli G.N. & Verdini R.A. (2020). Evaluation of antioxidant, antibacterial and physicochemical properties of whey protein-based edible films incorporated with different soy sauces. *LWT*, 117, Article 108587.
  10. Ge Y., Li Y., Bai Y., Yuan C., Wu C. & Hu Y. (2020). Intelligent gelatin/oxidized chitin nanocrystals nanocomposite films containing black rice bran anthocyanins for fish freshness monitorings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1296–1306.
  11. Genskowsky E., Puente L.A., Pérez-Alvarez J.A., Fernández-López J., Muñoz L.A. & Viuda-Martos M. (2015). Assessment of antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *LWT- Food Science and Technology*, 64(2), 1057–1062.

Статья принята к публикации 30.03.2022 / The article accepted for publication 30.03.2022.

Информация об авторах:

**Роман Владимирович Крюк**<sup>1</sup>, ассистент кафедры технологии продуктов питания животного происхождения

**Марина Геннадьевна Курбанова**<sup>2</sup>, заведующая кафедрой технологии продуктов питания животного происхождения, доктор технических наук, доцент

**Василий Викторович Матюшев**<sup>3</sup>, профессор, заведующий кафедрой товароведения и управления качеством продукции АПК, доктор технических наук, профессор

**Ирина Владимировна Буянова**<sup>4</sup>, профессор кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

**Roman Vladimirovich Kryuk**<sup>1</sup>, Assistant at the Department of Food Technology of Animal Origin

**Marina Gennadievna Kurbanova**<sup>2</sup>, Head of the Department of Food Technology of Animal Origin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Vasily Viktorovich Matyushev**<sup>3</sup>, Professor, Head of the Department of Commodity Research and Quality Management of Agricultural Products, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Irina Vladimirovna Buyanova**<sup>4</sup>, Professor at the Department of Food Technology of Animal Origin, Doctor of Technical Sciences, Professor