

УДК 330:658

DOI: 10.26140/anie-2019-0803-0080

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

© 2019

**Соснина Наталья Георгиевна**, старший преподаватель  
кафедры «Иностранных языков»*Уральский государственный экономический университет**(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 Марта/Народной Воли, 62/45, e-mail: natalya789@yandex.ru)*

**Аннотация.** В статье представлена классификация биоразлагаемых упаковочных материалов для пищевых продуктов. Дифференцированы полимеры первой, второй, третьей категории. Исследованы свойства полимеров и их способность к биоразложению. Полимеры первой категории представлены синтетическими материалами, полностью не разлагаемыми. Полимеры второй категории – это генерирующие материалы, период разложения которых составляет 2-3 года. Представители третьей категории способны к полному биоразложению. Изучены и проанализированы способы получения, технологичность, способность к биоразложению, антимикробные свойства и экономическая выгода полимеров. Рассмотрены перспективы производства полимеров.

**Ключевые слова:** экологически безопасные упаковочные материалы, биоразлагаемые упаковочные материалы для пищевых продуктов, способ производства, технологичность, способность к биоразложению, антимикробная активность, срок хранения продуктов, экономическая выгода.

**ECONOMIC ADVANTAGES OF BIODEGRADABLE MATERIALS OF THE THIRD GENERATION IN FOOD INDUSTRY**

© 2019

**Sosnina Natalya Georgievna**, assistant professor  
of the chair “Foreign Languages”*Ural State University of Economics**(620144, Russia, Yekaterinburg, st. 8 March/Narodnoy Voly, 62/45, e-mail: natalya789@yandex.ru)*

**Abstract.** The article presents the classification of biodegradable packaging materials for food products. The polymers of the first, the second and the third category are differentiated. The characteristics of polymers and their ability to biodegrade are investigated. The polymers of the first category are determined to be represented by synthetic materials, completely non-degradable. Polymers of the second category are generating materials, the decomposition period of which lasts for 2-3 years. The third category is capable of complete biodegradation. The methods of production, manufacturability, biodegradability, antimicrobial characteristics and economic benefits of polymers are studied and analyzed. Prospects of polymers production are considered.

**Keywords:** environmentally friendly packaging materials, biodegradable food packaging materials, production method, processability, biodegradability, antimicrobial activity, shelf life of products, economic benefit.

*Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.* Международный рынок упаковочных материалов стремительно развивается. Возрастает спрос на безопасную упаковочную продукцию, что является причиной увеличения объемов производства. На сегодняшний день все больше компаний заинтересовано в изготовлении упаковочных материалов из биоразлагаемых полимеров. Это связано, главным образом, со стремлением производителей соответствовать требованиям изготовления экологически безопасных пищевых продуктов и, безусловно, желанием снизить затраты на изготовление упаковок.

*Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты этой проблемы и на которых обосновывается автор; выделение неразрешенных ранее частей общей проблемы.* Многие отечественные и зарубежные исследователи изучали возможность использования биоразлагаемых материалов для пищевых производств [1-7]. Так, в исследовании Г. И. Касьянова автор описывает производство экологически чистой упаковки с длительным сроком хранения под воздействием микроорганизмов *Bacillus Subtilis* [1]. В последнее время безопасной упаковкой принято считать именно упаковку, произведенную из биоразлагаемых материалов. Термин «биоразлагаемые упаковочные материалы для пищевых продуктов» был введен в 2000 году В. Туэлем как «материалы, полученные из переработанного сырья». Более точное определение было опубликовано Хаггардом и Мортенсенем в 2003 году, которые рассматривали биоразлагаемые упаковочные материалы для пищевых продуктов как материалы с годовым возобновляемым циклом. В контексте данного исследования мы будем опираться на последнее определение.

*Формулирование целей статьи (постановка задач).* Цель данного исследования заключается в актуализации проблемы экономической конкурентоспособности биоразлагаемых упаковочных материалов. Задачи исследо-

вания:

1. Представить классификацию биоразлагаемых материалов с учетом их характеристик и способности к короткому периоду биоразложения.
2. Рассмотреть свойства выделенных биоразлагаемых материалов для пищевой упаковки.
3. Аргументировать производственную эффективность биоразлагаемых материалов для пищевой упаковки.
4. Сформулировать выводы относительно экономического преимущества биоразлагаемых материалов для пищевой упаковки.

*Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.* Основным методом исследования биоразлагаемых материалов является их классификация, анализ их характеристик и способности к быстрому биоразложению. Биоразлагаемые упаковочные материалы для пищевых продуктов могут быть классифицированы по нескольким критериям: на основе химического состава; по происхождению; по способу синтеза; по экономической эффективности; по способу применения. Важно отметить, что такие биоразлагаемые полимеры, как полилактоны и полигликолевая кислота производятся из нефтяного сырья и поэтому не будут включены в названную классификацию, поскольку они не производятся из первичных возобновляемых ресурсов. Полимеры из возобновляемых ресурсов отличаются от природных полимеров тем, что их синтез инициируется специально. В настоящее время не существует промышленного процесса, который производил бы пластмассовые материалы исключительно из возобновляемых ресурсов. Все они являются натуральными материалами. В связи с их природным происхождением (например, фермент-катализируемый синтез) полимеры являются биоразлагаемыми, так как для каждого полимеразного фермента существует деполимераза, способная катализировать

разложение этого полимера.

Традиционный способ классификации биоразлагаемых упаковочных материалов заключался в их дифференциации на основе их происхождения. Таким образом, выделяли материалы первого, второго и третьего поколения.

Биоразлагаемые упаковочные материалы первого поколения включали в себя синтетические полимеры, например, полиэтилен низкой плотности с крахмальными наполнителями и проокислительными добавками. Несмотря на то, что эти материалы разлагались или подвергались биофрагментации на более мелкие молекулы при компостировании, их полное разложение не было отмечено. В связи с этим, внешний вид возобновляемой упаковки не удовлетворял потребителей и вызывал общественное недовольство.

Биоразлагаемые материалы второго поколения – это генерирующие материалы, состоящие из смеси желатинизированного крахмала (40-75%) с добавлением гидрофильных сополимеров, таких как этиленакриловая кислота, поливиниловый спирт и винилацетат, которые действуют как совместимые агенты. Полное разложение крахмала занимает 40 дней, а всей пленки минимум 2 – 3 года. Реакция потребителей на эти упаковочные материалы была аналогичной описанной выше.

Материалы третьего поколения состоят из полностью биоразлагаемых материалов и могут быть разделены на три основные категории в зависимости от их происхождения и способа производства.

На основе представленной классификации рассмотрим свойства выделенных биоразлагаемых материалов для пищевой упаковки и аргументируем их производственную эффективность.

Полимеры третьего поколения дифференцируются по трем основным категориям в зависимости от их происхождения и способа производства. Так, выделяют полимеры, извлеченные непосредственно из биомассы; полимеры, полученные классическим химическим синтезом из мономеров биомассы и полимеры, полученные непосредственно с использованием природных или генетически модифицированных организмов.

Большинство общедоступных полимеров первой категории извлекаются из морских и сельскохозяйственных продуктов, включая полисахариды, такие как целлюлоза, крахмал и хитин, а также белки, такие как коллаген и соя. Современные биоразлагаемые упаковочные материалы для пищевых продуктов получают путем соединения с синтетическим биоразлагаемым полимером. В настоящее время проводятся исследования по использованию гемицеллюлозы для биоразлагаемой пищевой упаковки с использованием глюкуроноксилана (первичного гемицеллюлоза в листовых породах деревьев) и арабиноксиланом (первичная гемицеллюлоза в однолетних растениях, таких как ячмень).

Из сырья с годовым возобновляемым циклом наиболее часто используются крахмалосодержащие. В природе крахмал существует в виде кристаллических гранул диаметром около 15 – 100 мкм, после экстракции кристаллическая структура разрушается давлением, теплом, механической обработкой или пластификаторами. Пластифицированный крахмал чаще всего получают после разрушения и пластификации нативного крахмала водой и пластификатором путем применения термомеханической энергии в процессе непрерывной экструзии. TPS может обрабатываться так же, как и вторичные пластмассы, но его чувствительность к водяному пару и плохие механические свойства делают его непригодным для многих применений. Свойства TPS достигают равновесия только через несколько недель. Смешивание крахмала с алифатическими полиэфирами улучшает их технологичность и способность к биологическому разложению. Соединение крахмала с водорастворимым полимером, таким как PVOH, широко изучается с 1970 года и в настоящее время применяется для производства

крахмальных сыпучих наполнителей.

Хитин является вторым наиболее распространенным ресурсом полисахаридов после целлюлозы. Его содержание отмечено в клеточных стенках кутикулы насекомых, ракообразных, причем последние являются его основным источником. Хитозан является деацетилированным производным хитина (В-1-4-полиацетил-D-глюкозамин). Пленки, изготовленные только из хитозана, не обладают водостойкостью и имеют плохие механические свойства. Следует отметить, что и хитин, и хитозан обладают антимикробной активностью против ряда пищевых нитевидных грибов, что может быть использовано для улучшения качества упаковки и увеличения срока хранения продуктов.

Белковые полимеры также используются для производства биоразлагаемых упаковочных пленок. Два из наиболее распространенных растительных белка представляют собой изоляты из нута и соевого белка. Другие белки включают в себя экстракты из пшеницы, фисташек, подсолнечника и гороха. Многие другие белковые полимеры, такие как казеин, фибриноген, альбумин, могли бы быть использованы для создания пищевой упаковки ввиду присущей им способности к биоразложению. Однако, они еще не нашли широкого применения в качестве упаковочных материалов, из-за сложности обработки и процесса смешивания с большинством полимеров. Кроме того, они оказываются гораздо дороже большинства полисахаридов. Полимеры, полученные путем соединения с соевым белком, обладают высокой чувствительностью к влаге и низкой прочностью. Как показывают эксперименты, добавление 25% стеариновой кислоты приводило к образованию пленок с улучшенными растягивающими и тепловыми свойствами, а также снижение чувствительности к влаге. Недавно было обнаружено, что изолят соевого белка, глицерин и желлановая камедь или к-каррагинан идеально подходят для производства биоразлагаемых / съедобных упаковочных листов на основе сои. Однако к таким листам должен добавляться специальный барьерный материал, препятствующий поступлению влаги, так как он является гидрофильным по своей природе. Несмотря на то, что белковые материалы были подробно изучены в качестве упаковочных материалов для пищевых продуктов пропрыв, ведущий к их коммерциализации, еще не наступил [5]. Коллагеновые колбасные оболочки остаются основным коммерчески выгодным белковым упаковочным материалом.

Полимеры второй категории представляют собой материалы, полученные классическим химическим синтезом мономеров. Из всех возможных биополиэфиров, полилактат показал самый высокий коммерческий потенциал и сейчас выпускается в больших масштабах. Производство молочной кислоты является малозатратным способом путем ферментации глюкозы, полученной из кукурузы, пшеницы или из лактозы. К значительному сокращению эксплуатационных расходов привело производство молочной кислоты путем ферментации грибов *Rhizopus oryzae*, вид зигомицетовых грибов, относящийся к роду Ризопус, и овсяной муки. Димеризация поликонденсированной молочной кислоты в лактид (дилактон молочной кислоты) и полимеризации с раскрытием кольца впервые была проведена американским химиком У. Карозерсом в 1932. Однако, такой полимер оказался неустойчивым к высокой влажности и поэтому не считался коммерчески выгодным производством до 1960-х годов [8]. Молочная кислота (2-гидроксипропановая кислота) является одним из наименьших оптических активных молекул. Лактид образуется путем конденсации двух молекул молочной кислоты с образованием комбинации l-лактида (две молекулы l-молочной кислоты); d-лактид (две молекулы d-молочной кислоты) и мезолактид (молекула l-молочной кислоты и d-молочной кислоты). Полимер, в данном случае, производится путем прямой конденсации молочной кислоты. В резуль-

тате получают экологически совместимую упаковку для пищевых продуктов.

На основе описанной технологии компания Mitsui Toatsu Chemicals запатентовала процесс азеотропной дистилляции с использованием высококипящего растворителя для удаления воды в процессе прямой этерификации для получения полимера с высокой молекулярной массой [9].

Далее перейдем к рассмотрению полимеров третьей категории. Эти полимеры производятся непосредственно природными или генетически модифицированными организмами. Они состоят в основном из известных микробных полиэфиров, таких как полигидроксикислота (РНА). Полигидроксикислота, РНА, семейство возобновляемых, биodeградируемых, оптически активных полиэфиров, впервые была идентифицирована в 1925 французским микробиологом М. Лемуином. Она производится в виде внутриклеточных частиц многими микроорганизмами, которые накапливают РНА в качестве поглотителя углерода и энергии в условиях питательного стресса при избыточном углероде. В контролируемых условиях ферментации некоторые виды могут накапливать до 90% их сухой массы в качестве полимера [4]. В настоящее время существует более 100 типов известных молекулярных строительных блоков для различных сополимеров РНА [6].

Сополимеры РНА представляют собой линейные алифатические сложные полиэфиры, состоящие из гомо- или сополимеров  $\alpha$ -гидроксиалкановых кислот, которые могут быть получены из ферментации сахара; выход конверсии сахара в полимер составляет около 33%. Полученные полимеры являются биodeградируемыми и благодаря своим характеристикам подходят для производства упаковочных материалов в пищевых целях. Известно, что многие различные прокариотические микроорганизмы накапливают РНА межклеточно в условиях ограничения роста. После разделения биомассы полиэфир извлекают и очищают.

В семействе РНА наиболее предпочтительным является полигидроксibuтират (PHB) с короткой цепью мономеров, содержащих от четырех до пяти самых разных биобезопасных пищевых упаковочных материалов с 13 атомами углерода. Все разновидности РНА деградируют при воздействии бактерий или грибов в почве. В опытах по компостированию до 85% образцов РНА деградировали в течение 7 недель, а бумага с покрытием РНА быстро разлагалась и включалась в компост. РНА была впервые внедрена в промышленности в 1960-х годах и коммерциализирована компанией ICI в конце 1980-х годов под торговым названием «Biopol®». Это был первый коммерческий продукт, который в 1990 году был выпущен компанией Wella AG в Германии в качестве биоразлагаемой бутылированной упаковки для упаковки средств для кожи и волос. Эти продукты были представлены на рынках Соединенных Штатов и Японии в 1991 и 1992 годах соответственно [10]. Компания Monsanto приобрела технологию «Biopol®» в 1996 году и сосредоточилась на прямом синтезе в трансгенном производстве, но в 1998 году приостановила его. Далее технология была приобретена компанией Metabolix в 2001 году, которая открыла совместное предприятие с Archer Daniels Midland, известное как Telles. Сейчас эти компании производят семейство РНА под торговой маркой «Mirel™».

В виду того, что бактериальный синтез является дорогостоящим, сейчас основное внимание уделяется производству РНА пластмасс и полученных химических веществ непосредственно в генетически модифицированных культурах, одновременно обеспечивая биомассу для производства альтернативной энергии. Генетически модифицированные культуры способны накапливать до 2 кг CO<sub>2</sub> в корневой системе на 1 кг биомассы над землей. Сахарный тростник и соя также являются привлекательными культурами для данного вида производства.

Получение энергии и РНА из биомассы рассматривается как наиболее устойчивый подход к производству биобезопасных материалов.

*Выводы исследования и перспективы дальнейших изысканий данного направления.* На сегодняшний день потребность в производстве биоразлагаемых упаковочных материалов возрастает. Такие материалы должны обеспечивать антимикробную защиту пищевой продукции, иметь способность к достаточно короткому периоду разложения и приносить экономическую выгоду. Полимеры третьего поколения отвечают всем названным требованиям. Возможность получения данной группы полимеров в процессе технологического производства обеспечивает их конкурентные преимущества.

Можно предположить, что в скором будущем производство полимеров на заводах достигнет экономической конкурентоспособности по сравнению с существующими крупномасштабными нефтехимическими полимерами. Однако получение РНА, накопленной в растительных материалах, будет не так просто, как извлечение РНА из микроорганизмов [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Касьянов Г.И. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов / Г.И. Касьянов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biorazrushaemaya-upakovka-dlya-pischevyh-produktov> (дата обращения: 15.10.2018).
2. Надыкта В.Д. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов / В.Д. Надыкта // Научные труды КубГТУ. 2017. № 5. С. 80-92.
3. Пармухина Е.Л. Российский рынок биоразлагаемой упаковки / Е.Л. Пармухина // Экологический вестник России. 2011. № 2. С. 32-34.
4. Chen G. Biodegradable Polymers for Industrial Application / G. Chen. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. P. 32-56.
5. Guilbert S., Cuq B. Handbook of Biodegradable Polymers. / S. Guilbert, B. Cuq. Shawbury: Raptia Technology Ltd. P. 339-374.
6. Noda I, Satkewski MM, Dowrey AE, Marcott C. Polymer alloys of Nodax copolymers and poly(lactic acid). Macromol Biosci 4. P.269-275.
7. Sudesh K. Handbook of Biodegradable Polymers. / K. Sudesh. Shawbury: Raptia Technology Ltd. P. 219-256.
8. Zhang J-F, Sun X. Biodegradable Polymers for Industrial Application. / J-F Zhang, X. Sun. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. P. 251-288.
9. Gruber P., O'Brien M. Biopolymers / P. Gruber, M. O'Brien. Toronto: Wiley-VCH. P. 235-252.
10. Ramsay B.A., Ramsay J.A. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. / B.A.Ramsay, J.A Ramsay. New York.: John Wiley & Sons Inc. P. 525-544.

Статья поступила в редакцию 17.05.2019

Статья принята к публикации 27.08.2019