Съедобные плёнки и покрытия: помощь человека окружающей среде или новый продукт питания?

Т. А. Савицкая, доцент кафедры физической химии БГУ, кандидат химических наук,
Е. А. Готина, студентка химического факультета БГУ,
Хуо По, профессор, декан колледжа биологии и защиты окружающей среды Чжэцзянского Шужен университета, г. Ханьжоу (Китайская Народная Республика)

Сегодня современному человеку при описании перспектив устойчивого развития общества не обойтись без слов с приставками «нано-» (карлик) и «био-» (жизнь). При этом в сфере, касающейся здоровья планеты, здоровья человека, «био» успешно соперничает с «нано».

Съедобные плёнки среди биовозобновляемых биоразлагаемых материалов

В той узкой области, о которой пойдёт речь, а именно в области производства и использования полимерной пищевой упаковки и, в частности, съедобных плёнок и покрытий, особый интерес представляет цепочка: биовозобновляемые полимеры — биоразлагаемые (биодеградируемые) полимеры — биоразлагаемая (биодеградируемая) упаковка. Оперируя этими терминами, следует принимать во внимание, что биовозобновляемые полимеры — это не только природные полимеры, выделяемые из возобновляемого сырья, такие как целлюлоза, лигнин, крахмал, хитин и др., но и полимеры, полученные полимеризацией мономеров, также выделенных из природного сырья, например полилактиды, которые получают полимеризацией лактидов, являющихся продуктами биотехнологической переработки, в частности кукурузы.

На основе биовозобновляемых полимеров получают биовозобновляемые пластики, или биопластики. В отличие от полимеров, пластики содержат в себе также и другие компоненты (стабилизаторы, антиоксиданты, красители, различные наполнители и т. д.). Биоразлагаемые пластики могут быть получены и из невозобновляемых источников сырья. Способность полимера или пластика подвергаться биоразложению зависит исключительно от его химической структуры, а не от происхождения. Биоразлагаемый пластик — это пластик, который в результате биоразложения превращается в диоксид углерода, воду и биомассу (биогумус). Биоразложение, или биотическое разложение, — это процесс, в результате которого полимерный материал разлагается под действием живых организмов (биотических компонентов). Как правило, это грибы, бактерии и водоросли. В случае съедобных плёнок необходимо ещё добавить и «человек». Под действием внутриклеточных и неклеточных ферментов (эндо- и экзоэнзимов) полимер подвергается химическим реакциям, которые в основном сводятся к окислению и гидролизу.

Как и кем сегодня оценивается биоразлагаемость полимерных материалов? Ведущими органами стандартизации в мире являются:

- ASTM (American Society for Testing Materials) — Американское общество по испытанию материалов;
- ISO (International Standards Organization) — Международная организация по стандартизации;
- CEN (The European Committee for Standardization (по-французски: Comité Européen de Normalisation)) — Европейский комитет по стандартизации.

Ведущие организации в Европе, занимающиеся сертификацией биоразлагаемых пластиков, это:

- DIN CERTCO (ФРГ) — осуществляет выдачу сертификатов на компостируемые пластики;
- Vincotte (Бельгия), которая дополнительно к этому сертифицирует пластики, пригодные для домашнего компостирования, и пластики, способные к биоразложению в почве и воде.

Обе организации проводят сертификацию материалов, получаемых из возобновляемых источников на основе стандарта ASTM D6866.

Ведущая организация в США — это BPI (Biodegradable Products Institute), Институт биоразлагаемых продуктов.

Ведущая организация в Японии — JBPA (Japanese Biodegradable Plastics Association), Японская ассоциация биопластиков.

Полимер, как правило, считается биоразлагаемым, если вся его масса разлагается в почве или воде за период в течение шести месяцев. По результатам тестирования, биоразлагаемые пластики в количестве не менее 90 % должны превратиться в углекислый газ, воду и гумус. Далее полученный компост просеивается через сито, ячейки которого задерживают частицы размером более 2 мм. Нормой считается, когда исходный биополимер оставляет после себя остаток не более 10 % [1].

Количественная оценка биодеструктуруемости предполагает в числе прочих определение количества выделившегося CO_2, биологического потребления кислорода (БПК), химического потребления кислорода (ХПК), отношения $БПК_x/БПК_\infty$, т. е. отношения БПК за x дней к БПК после полного разложения продукта и т. д.

Проблема биоразлагаемости пластиков — одна из глобальных экологических проблем, которой озабочен весь цивилизованный мир. Достаточно сказать, что, по оценкам Европейской комиссии Евростат (European Commission Eurostat) [2] и Агентства Охраны Окружающей Среды США (U. S. Environmental Protection Agency) [3], за 2010 год рядовой европеец или американец выбрасывает на свалку 172 и 528 кг бытовых отходов в год соответственно. Примерно 30 % от этого количества приходится на выбрасываемую упаковку.

Таблица 1 — Статистическая оценка отходов за 2010 год

Страна		Евросоюз (27 стран) [2]	США [3]	Республика Беларусь [4]
Численность населения	млн чел.	502,4891	312,9139	9,5000
Твёрдые бытовые отходы	млн тонн	219,59	250,42	3,04
	кг/чел.	437,00	800,28	320,11
Переработка отходов	млн тонн	133,27	85,16	0,33
	кг/чел.	265,22	272,15	34,87
Выбрасываемые отходы	млн тонн	86,32	165,26	2,71
	кг/чел.	171,78	528,13	285,23
Контейнеры и упаковка[1]	млн тонн	28,94	38,79	—
	в процентах	0,34	0,23	—

[1] Упаковочные материалы, оказавшиеся на свалке отходов, с учётом переработки.

Оценка мирового рынка

По сравнению с другими видами упаковки доля полимерной упаковки на рынках различных стран неодинакова. Например, в России объём картонно-бумажной тары и упаковки составляет 57 %; на втором месте — полимерная упаковка, 17 %; сегмент тары и упаковки из стекла составляет 13 %, металлическая упаковка занимает 10 % рынка. На мировом рынке ситуация иная: полимерная продукция составляет основную конкуренцию картонно-бумажной упаковке. На российском рынке эта конкуренция пока не достигла подобного уровня, однако, по мнению компании *«Маркет Аналитика»*, в ближайшие годы можно ожидать роста этого сегмента до 60 %. Полимерная упаковка значительно дешевле бумажной, её можно перерабатывать и использовать вторично. Производство полимерной упаковки является самым крупным потребителем полимерного сырья. В 2011 году доход только одной крупной американской упаковочной компании Моносол (Monosol) составил без малого 100 млн долларов. В 2012 году на долю упаковочных материалов пришлось 280 тонн полимеров.

В общем объёме производства полимеров мировой рынок биоматериалов, в частности

биопластиков, уже в настоящее время оценивается в 1 млн т и демонстрирует 30%-ный годовой рост. С каждым годом биопластики завоёвывают всё больше рынков: от упаковки, бытовой электроники и текстиля до сельского хозяйства и машиностроения. По прогнозам European Bioplastics [5], к 2016 году от 30 до 90 % мирового производства полимеров может быть занято пластиками, получаемыми из возобновляемого сырья. Сегодня уже формируется ядро экологически ответственного бизнеса, имеющего практику по производству экобезопасной продукции, её сертификации и сбыту.

Съедобные плёнки

Среди различных типов биовозобновляемой биодеградируемой упаковки съедобные покрытия и плёнки составляют объект нового направления развития исследований и привлекают пристальное внимание всех: от учёных до потребителей и производителей. В настоящее время основными плёнкообразующими компонентами в составе съедобной упаковки являются белки (коллаген, желатин, зеин, глютен, соевые изоляты, казеин и т. д.), жиры (ацетоглицериды, глицериды, жирные кислоты), углеводы (производные крахмала, эфиры целлюлозы, хитозан, декстрины, альгинаты, каррагинаны, пектины, полисахариды) и др. По пищевой ценности съедобные плёнки и покрытия условно подразделяют на усвояемые и неусвояемые. К первым относятся плёнки и покрытия на основе таких компонентов пищи, как белки, жиры, углеводы, а ко вторым — покрытия на основе восков, парафинов, водорастворимых природных и синтетических камедей, водорастворимых производных целлюлозы, поливинилового спирта, поливинилпирролидона и др. В этой связи хотелось бы подчеркнуть, что некоторые производители современной упаковки в борьбе за рынок, забывая порой о последствиях, называют съедобными плёнками и покрытиями те упаковки, которые корректнее было бы отнести, на наш взгляд, к биоразлагаемым упаковочным материалам, например восковые или парафиновые покрытия. Сегодня потребитель должен быть очень внимателен, поскольку всем известно, что недостаточно иметь полную информацию о продукте, который собираешься употребить в пищу. Его упаковка также может угрожать здоровью. На недавней конференции в Брюсселе Европейская комиссия (European Framework Regulation) обсудила вопрос о безопасности упаковки для продуктов питания и предложила сделать обязательным полное информирование покупателей, а именно нанесение в виде маркировки на упаковке продуктов данных о химическом составе и способах производства всей упаковки, которая непосредственно контактирует с пищевыми продуктами. Однако многим специалистам показалось, что решение Европейской комиссии сделать эту информацию доступной приведёт не к повышению уровня безопасности упаковки для потребителей, а к раскрытию многих фирменных «ноу-хау».

Съедобная упаковка в истории

Не стоит думать, что съедобная упаковка — это новое явление, ведь всё новое — это хорошо забытое старое. Первую «съедобную» упаковку применили ещё в Древнем Китае XII века, когда перед отправкой груза на дальние расстояния моряки покрывали цитрусовые фрукты тонким слоем воска, чтобы сохранить влагу и упругость товара. В XV веке в Европе такая технология получила специальное название — лардинг, которое означало покрытие фруктов или овощей слоем воска или сала, что препятствовало усыханию продуктов. И хотя такое решение было не идеальным (из-за нарушения газообмена вкусовые качества еды снижались и постепенно терялся товарный вид), за неимением лучшего варианта сохранения свежих продуктов лардинг широко применялся вплоть до XIX века. В это время в Японии предлагали использовать другую специальную плёнку, названную йуба. Её получали при кипячении соевого молока для улучшения внешнего вида и сохранения качества пищевых продуктов.

А первый патент на создание съедобной упаковки был выдан в США в XIX веке, когда предложили оборачивать мясные продукты в желатиновую оболочку (хотя подобный способ был известен ещё в X веке, тогда в качестве оболочки для мяса использовали кишки животных).

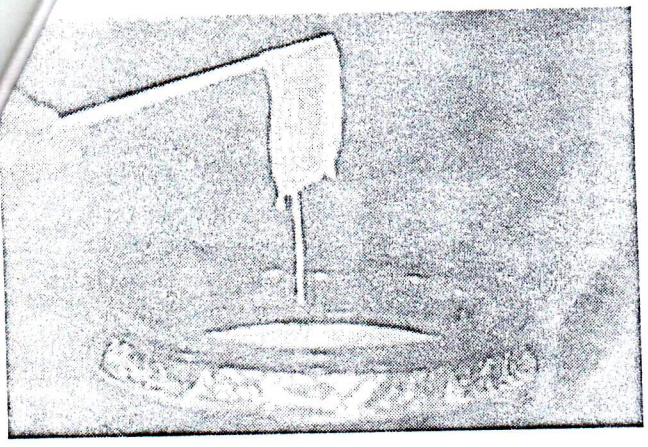

Рисунок 1 — Йуба

Затем в XVIII веке в Японии изобрели «съедобную посуду»: тарелки, чашки, креманки, стаканчики и прочие изделия из рисовой муки. В настоящее время съедобная посуда прочно вошла в нашу жизнь: вафельные стаканчики, пшеничные лепёшки. Даже кофейная компания Lavazzo предлагает своим клиентам съедобную чашку для кофе, а в бразильской сети ресторанов Бобс (Bob's) посетителям предлагают съедать гамбургер вместе с бумажной обёрткой [6].

Рисунок 2 — Примеры современной съедобной упаковки

Проблемой создания съедобной упаковки, которая бы сохраняла такие свойства свежих продуктов, как цвет, упругость, содержание воды, жирность, занялись ещё в начале XX века. Уже к середине XX века в США существовало несколько торговых марок таких плёнок, которые пользуются спросом и сегодня.

Таблица 2 — Примеры съедобных плёнок в США [7]

Название	Основной компонент	Применение
Freshseel™	Эфиры сахаров	Увеличение срока хранения дыни
Fry Shield™	Пектинат кальция	Уменьшение жирности рыбы, картофеля и других овощей при жарке в масле
Natural Seal™	Аскорбат кальция	Сохранение качества авокадо, моркови и других овощей
Nutrasavc™	N, О-карбоксиметил хитозан	Предотвращение потери влаги авокадо, сохраняет его упругость
Opta Glaze™	Пшеничный глютен	Предотвращение роста микробов на сырых яйцах
Semperfresh™	Эфиры сахаров	Защита фруктов от потери влаги и изменения цвета
Z*Coat™	Кукурузный белок	Увеличение срока хранения орехов

Состав и свойства съедобных плёнок

При создании современных съедобных покрытий уделяют внимание таким характеристикам, как прочность, эластичность, газопроницаемость (CO_2 и O_2), влагопроницаемость, растворимость (или водостойкость), антимикробные свойства, вкусовые качества самой плёнки.

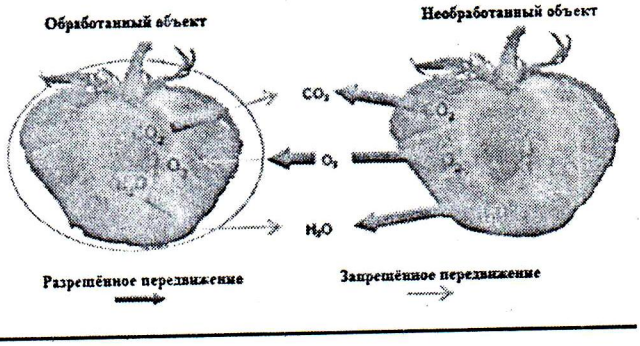

Рисунок 3 — Газопроницаемость пищевых продуктов

Из чего же делают современные съедобные плёнки? Как оказалось, предложений много. Большинство из современных синтетических покрытий можно отнести к одному из трёх классов: полисахаридные плёнки (крахмал, альгинаты, производные целлюлозы, хитозан), белковые плёнки животного или растительного происхождения (казеин, желатин, альбумин, лизоцим, зеин) или же смешанные плёнки. Дополнительными компонентами в составе съедобной упаковки являются пластификаторы, которые улучшают механические свойства и водостойкость материалов: пищевые кислоты, моно-, ди-, олигосахара, полиспирты, липиды. Отдельно также можно выделить класс съедобных упаковок, получаемых непосредственно из пищевых продуктов — фруктовых и овощных пюре, орехов и даже шоколада.

Как отечественные, так и зарубежные разработчики уделяют достаточно много внимания плёнкам на основе белков. Такие плёнки обладают низкой газопроницаемостью и нейтральным вкусом, однако высокая паропроницаемость ограничивает их применение. С этой проблемой пытаются справиться добавлением жирных кислот. Так, профессор Джон Крохта из Университета Калифорнии уже несколько десятков лет разрабатывает упаковку для приготовленной рыбы, фруктов и сухих круп на основе белка молочной сыворотки [8]. А в Германии ещё в 1933 году компания «Натурин» создала коллагеновую оболочку, которая улучшала свойства натуральных кишечных оболочек для мясной продукции. Также можно сослаться на результаты исследования учёных Московского государственного университета прикладной биотехнологии [9], которые создали съедобные покрытия для защиты поверхности твёрдых сыров в период созревания и хранения, а также несколько оболочек для хранения мяса и мясных полуфабрикатов.

Покрытия из полисахаридов идеальны для создания водорастворимых порционных упаковок. Крупнейшая компания — разработчик водорастворимых упаковок компания «Моносол» поставляет на потребительский рынок порционные упаковки с кофе, какао, протеиновыми коктейлями, крупами, мукой, специями. Эти плёнки растворяются в горячей воде в течение нескольких секунд и не влияют на вкус пищи. Точно отмеренные порционные упаковки позволяют контролировать количество добавляемых специй, красителей и т. п. без страха что-либо разлить или рассыпать.

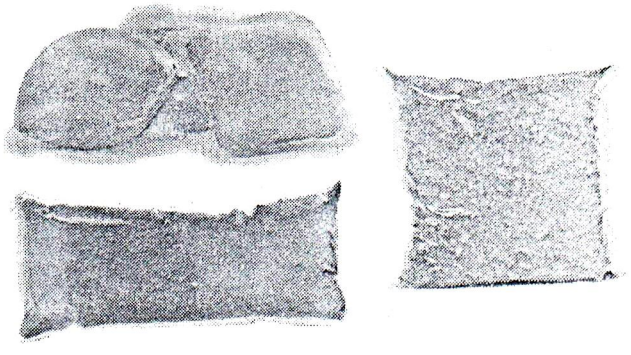

Рисунок 4 — Продукция компании «Моносол»

Сегодня учёные-разработчики особое внимание уделяют такому полисахариду, как хитозан, который получают из отходов рыбной промышленности. Его растворы дают однородные гибкие плёнки, обладающие дополнительными антибактериальными свойствами. На продуктах с таким покрытием микробы и некоторые микроорганизмы не растут. Профессор Янюн Зао из университета Орегона в США [10] и специалисты из университета Дели [11] используют это свойство в надежде увеличить срок хранения свежих фруктов с целью расширения возможностей экспорта местных продуктов, в частности манго, нарезанных яблок или черники.

Новые возможности съедобной упаковки

Съедобная упаковка может обладать множеством функциональных дополнений. Перспективно использовать такие покрытия как носителей вкусовых добавок, витаминов, минеральных питательных веществ, микроэлементов и т. д. Примером может служить разработка аспирантов Астраханского технологического университета [12], которые под руководством Альберта Нугманова создали сосисочную оболочку на основе альгинатов (полисахаридов, извлекаемых из водорослей), которая при варке растворяется и превращается в мясной бульон. Студенты предлагают также создать пакет для заморозки ягод, который при варке добавлял бы банановый вкус к компоту.

Другим направлением развития исследований в области создания съедобной упаковки

может стать использование в качестве сырья не синтетических полимеров, а непосредственно пищевых продуктов. Американский учёный Тара Макхью разработала упаковочную плёнку из фруктовых и овощных пюре, которая хоть и хрупкая, но увеличивает срок хранения продуктов, а сама обладает заметной пищевой ценностью [13].

Ярким примером таких исследований стала нашумевшая разработка профессора Гарвардского университета Дэвида Эдвардса — Викисэлс (WikiCells) [14]. По словам профессора, он попытался создать такую упаковку, которая была бы максимально приближена к природным оболочкам, таким как кожа банана или винограда. В результате он создал шарики, сделанные из электростатического геля на основе кусочков пищи (фруктов, овощей, орехов и даже шоколада) с добавлением полисахаридов (хитозан, альгинаты), а также солей кальция или магния. Внутри такого шарика можно хранить всё, что угодно, в том числе и жидкости. Созданная им компания «Викифудс» предлагает всем желающим в Париже или Нью-Йорке попробовать в их Викибаре такие новинки, как мороженое, которое не тает на солнце; суп Гаспачо, который можно есть руками; а также коктейль Мартини, который можно положить в карман, потом промыть под краном и съесть. Все эти чудеса относятся к так называемой молекулярной гастрономии, которая использует безопасные химические вещества для получения безопасных кулинарных шедевров.

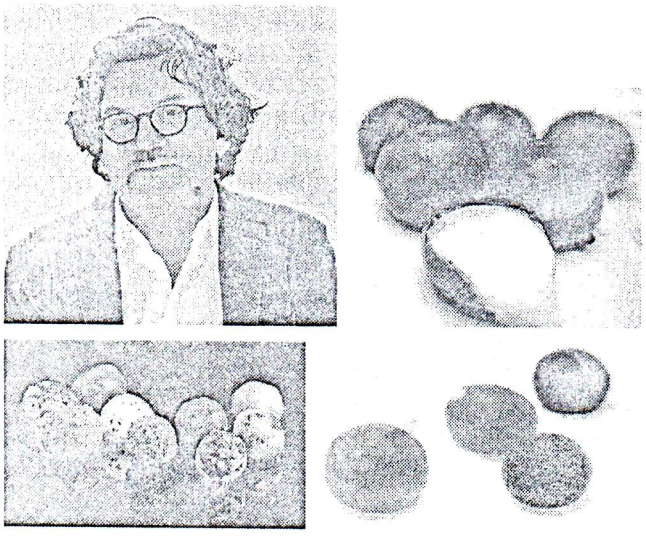

Рисунок 5 — Дэвид Эдвардс и его творение — Викисэлс

Совсем недавно появились сообщения о том, что группа студентов из Лондона возродила известную ещё в 40-е годы XX столетия технологию «сферификации» воды. Таким способом они создали съедобную бутылку для воды, которая может стать конкурентом Викисэлс в области упаковки жидкостей и назвали её Ухо [15]. По этому способу замороженная вода вводится в разбавленный раствор альгината натрия, содержащий хлорид кальция. На поверхности ледяного шарика мгновенно образуется желеобразная плёнка, которая и служит в качестве съедобной бутылки после того, как вода растает.

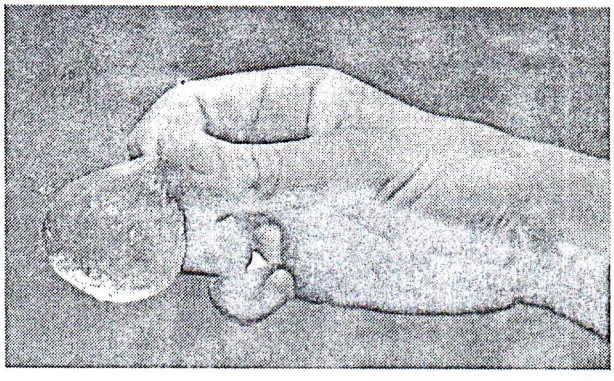

Рисунок 6 — Съедобная бутылка воды

Среди перспективных проектов, связанных со съедобной упаковкой, можно назвать создание солдатских обедов, все компоненты которых съедобные. При этом существуют разработки специальных термоплёнок, которые могут не только служить упаковкой для замороженных продуктов, но также контролировать процесс приготовления полуфабрикатов в печи. Например, лазанья, которую можно целиком отправить в духовку, но каждый слой мог бы подвергаться термообработке в своё время: первым мясо, потом макароны и только в последний момент — сыр.

Съедобная упаковка предлагает нетрадиционное решение проблемы увеличения количества бытовых отходов, одновременно имея множество дополнительных функциональных возможностей. Разумеется, процесс глобализации такого решения связан со многими трудностями. В их числе вопросы юридической легализации подобных продуктов, безопасность продукта, а также эстетические взгляды потребителей на такой продукт. Кроме того, следует иметь в виду, что, исходя из ми-

нимальных гигиенических соображений, съедобная упаковка ни в коем случае не сможет полностью заменить традиционную упаковку, хотя и сможет заметно уменьшить её количество. Как показывает практика последних десяти лет, все эти трудности решаемы, надо только признать перспективность идеи съедобной упаковки, целью которой являются более чистые города. Именно так считают в НИИ физико-химических проблем БГУ, где под руководством профессора Д. Д. Гриншпана ведутся разработки первой съедобной упаковки в Республике Беларусь совместно с исследователями факультета биологии и экологической инженерии Чжэцзянского Шужен университета Китайской Народной Республики под началом профессора Хуо По. Эти разработки перспективные, их следует активно развивать, поскольку накопленные знания пригодятся будущим поколениям. Вполне возможно, они уже смогут ответить на вопрос, сформулированный в заглавии данной статьи.

Список использованных источников

1. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation: European Standard NF EN 13432. — Введ. 01.02.2000. — EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2000. — 28 с.
2. Waste statistics // European Commission eurostat [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics. — Дата доступа: 19.04.2014.
3. Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2010 // United States Environmental Protection Agency [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/msw_2010_rev_factsheet.pdf. — Дата доступа: 19.04.2014.
4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь [2005–2012] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; [редколлегия: В. И. Зиновский (председатель) и др.]: статистический сборник. — Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2013. — 254 с.
5. Market // European Bioplastics [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://en.european-bioplastics.org/market. — Дата доступа: 19.04.2014.
6. Brazilian Fast-Food Chain Cuts Waste By Serving Up Burgers Wrapped In Edible Paper // Inhabit [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://inhabitat.com/brazilian-fast-food-chain-cuts-waste-by-serving-up-burgers-wrapped-in-edible-paper/. — Дата доступа: 19.04.2014.
7. *Pavlath, A. E.* Edible Films and Coatings: Why, What, and How? / A. E. Pavlath, W. Orts // Edible Films and Coatings for Food Applications / M. Embuscado, K. C. Huber. — Springer, 2009. — Гл. 1. — С. 1–25.
8. *Janjarasskul, T.* Edible packaging materials. / T. Janjarasskul, J. M. Krochta // Annual review of food science and technology. — 2010. — Vol. 1. — № 1. — P. 415–448.
9. *Кудрякова, В. А.* Съедобная упаковка: состояние и перспективы / В. А. Кудрякова, Л. С Кузнецова, М. Н. Нагула [и др.] // Упаковка и Логистика. — 2007. — № 6. — С. 24–25.
10. *Duan, J.* Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. / J. Duan, R. Wu, B. Strik, Y. Zhao // Postharvest Biology & Technology. — 2011. — Vol. 59. — № 1. — P. 71–79.
11. *Srinivasa, P. C.* Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film. / P. C. Srinivasa, R. Baskaran, M. N. Ramesh // European Food Research and Technology. — 2002. — Vol. 215. — № 6. — P. 504–508.
12. Астраханские аспиранты придумали съедобный полиэтилен со вкусом бульона // Комсомольская правда [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://www.kp.ru/online/news/1590102/?cp=0#comment. — Дата доступа: 19.04.2014.
13. Tara McHugh // FoodTechSource [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://www.foodtechsource.com/emag/015/trend.htm/. — Дата доступа: 19.04.2014.
14. WikiPearl // WikiFoods [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://www.wikipearl.com/. — Дата доступа: 19.04.2014.
15. Students Design Edible «Ooho» Water Bottle // Inhabit [Электронный ресурс]. — 2014. — Режим доступа: http://inhabitat.com/london-students-design-the-edible-ooho-water-bottle-that-you-can-cook-up-in-your-own-kitchen/. — Дата доступа: 19.04.2014.