

УДК 628.477.6:658.567.1

И. Ю. Ухарцева, Е. А. Цветкова, В. А. Гольдаде, В. М. Шаповалов

УТИЛИЗАЦИЯ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ОСНОВА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ И СЪЕДОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Во введении представлен анализ применяемых в разных странах способов обезвреживания отходов, который свидетельствует об определенных сложностях утилизации полимерных отходов в связи с их наибольшей экологической опасностью, поскольку синтетические полимеры длительное время разлагаются в естественных условиях. На сегодняшний день высокие требования к защите окружающей среды диктуют появление новых видов переработки полимерных отходов путем их самодеструкции. Актуальным направлением в упаковочной отрасли является производство экологически чистых самодеструктируемых упаковок – биоразлагаемой и съедобной. Основой для производства таких упаковок служит сырье животного и растительного происхождения. Цель работы заключена в обосновании преимуществ самодеструктируемой упаковки как экологически чистого материала, не наносящего вред окружающей среде. В основной части статьи приведены сведения о преимуществе биоразлагаемых и съедобных упаковочных материалов. Преимуществом биоразлагаемых упаковок является их способность к разложению на натуральные компоненты, которые не требуют отдельного сбора, сортировки, переработки или повторного использования или других решений для утилизации. Затраты на утилизацию таких упаковок минимальны, поскольку отходы разлагаются под действием природных факторов: воды, различных видов излучения или микроорганизмов. Съедобные упаковки являются единственным видом биоразлагаемой полимерной упаковки, которая не нуждается в индивидуальном сборе и особых условиях утилизации. Такие упаковки обладают высокой сорбционной способностью, что позволяет им оказывать положительное физиологическое воздействие на организм человека, обогащая продукты питания минеральными веществами, витаминами, комплексами микроэлементов, биофлавоноидами, регулировать вкусоароматические свойства упакованного пищевого продукта и упрощать процесс питания. В заключении отмечено, что решение проблем утилизации упаковочных материалов свидетельствует о мировой тенденции в области создания самодеструктируемых материалов – биоразлагаемых и съедобных, перспективы использования которых направлены на сохранение окружающей среды.

Ключевые слова: упаковочные материалы, биоразложение, гидроразложение, оксоразложение, съедобная упаковка, отходы, утилизация.

Введение. В статье [1] рассмотрены тенденции по утилизации и переработке отходов традиционных упаковочных материалов: бумаги, стекла, металла и полимеров. Анализ применяемых в разных странах способов обезвреживания отходов свидетельствует об определенных сложностях утилизации полимерных отходов в связи с их наибольшей экологической опасностью, поскольку синтетические полимеры длительное время разлагаются в естественных условиях. На сегодняшний день высокие требования к защите окружающей среды диктуют появление новых видов переработки полимерных отходов путем их самодеструкции.

Ухарцева Ирина Юрьевна, канд. техн. наук, доц., доц. каф. материаловедения в машиностроении ГГТУ им. П. О. Сухого (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: пр. Октября, 48, 246029, г. Гомель, Беларусь; e-mail: ukhartseva@yandex.ru

Цветкова Елена Александровна, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: tsvetkovaea21@mail.ru

Гольдаде Виктор Антонович, д-р техн. наук, проф., проф. каф. радиопизики и электроники ГГУ им. Франциска Скорины, вед. науч. сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: victor.goldade@gmail.com

Шаповалов Виктор Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. отделом № 1 Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь; e-mail: v.shapovalov@tut.by

1. Биоразлагаемая упаковка. Наиболее актуальным направлением в упаковочной отрасли является производство экологически чистой биоразлагаемой упаковки. Преимуществом биоразлагаемых упаковок является то, что они разлагаются на натуральные компоненты и поэтому не требуют отдельного сбора, сортировки, переработки для повторного использования или других решений для утилизации (мусородробилки на свалках, сжигание и т.д.), как в случае с традиционными пластиками. Все эти методы уменьшают негативное влияние пластика на окружающую среду, но не устраняют полностью как в случае использования биоразлагаемых полимеров. Только полностью натуральное разложение позволяет искусственным материалам-биопластикам участвовать в природном цикле [2]. Сегодня в мире насчитывается более 100 видов различных биоразлагаемых полимеров. Общее разделение биоматериалов в зависимости от видов используемого сырья представлено на рисунке 1 [3].



Источник: [3].

Рисунок 1 – Классификация биоразлагаемых упаковок

Как видно из рисунка 1, основой для производства биоразлагаемых упаковок являются углеводороды, растительное и животное сырье. Биоразлагаемые полимеры из растительного сырья условно разделить на несколько групп. Наиболее перспективные – полилактиды (PLA), т.е. полимеры на основе молочной кислоты, которые получают после молочнокислого брожения сахаров кукурузы или другой биомассы. Благодаря своей прочности и прозрачности они могут составить конкуренцию полистиролу и полиэтилентерефталату [4]. На основе зеина и глюкоманнана разработаны биоразлагаемые композитные пленки для хранения пищевых продуктов при длительной транспортировке и сохранения их полезных свойств [5].

Ведущими фирмами-производителями полимеров на основе PLA являются: Nature Works (Cargill Dow, США), Galacid (Galactic, Бельгия), Lacea (Mitsui Chem, Япония), Lactu (Shimadzu, Япония), Neplon (Chronopol, США), CPLA (Dainippon Ink Chem., Япония), Ecoplastic (Toyota, Япония), Treofan (Treofan, Нидерланды), PDLA (Purac, Нидерланды), Ecoloju (Mitsubishi, Япония), Biomer L (Biomer, Германия). Например, полилактиды, полученные из зерна и реализуемые под торговой маркой Nature Works

PLA и Ingeo, применяют в термоупаковке, экструдированных пленках и волокнах. Из них производят изделия с коротким сроком службы: упаковку для фруктов и овощей, яиц, деликатесных продуктов, выпечки, сэндвичей, леденцов и цветов. В PLA-бутылки упаковывают воды, соки и молочные продукты. Корпорация Stora Enso производит картон Cupforma Natura Bio и бумагу с биополимерным PLA-покрытием – полностью биоразлагаемое сырье для одноразовых стаканчиков.

Помимо полилактидов, перспективными компостируемыми разрушаемыми биопластиками являются полиэфиры алкановых кислот, так называемые полигидроксиалканоаты (РНА) – термопластичные разрушаемые микроорганизмами продукты переработки растительного сахара. По сравнению с полилактидами РНА устойчивы к растворителям, УФ-излучению, применимы под запайку и к нанесению печати. Свойствами РНА (кристалличность, механическая прочность, температурные характеристики, скорость деградации) можно управлять, варьируя в процессе ферментации состав среды и задавая ту или иную химическую структуру. Помимо термопластичности, аналогично полипропилену и полиэтилену РНА-биопластики обладают антиоксидантными свойствами, а также характеризуются высокой биосовместимостью. Из них делают упаковочные и нетканые материалы, одноразовые салфетки и предметы личной гигиены, пленки и волокна, связывающие вещества и покрытия, водоотталкивающие покрытия для бумаги и картона [4]. Преимущество такой упаковки состоит в том, что затраты на ее утилизацию минимальны, поскольку отходы разлагаются под действием природных факторов [6]: воды (гидродеградация), различных видов излучения (например, фотодegradация), микроорганизмов (биодegradация).

Разделение материалов на биоразлагаемые вследствие действия только биологических (плесневые грибы, почвенные бактерии, атмосферные микроорганизмы), физических (ультрафиолетовое излучение) и химических (реагенты в водных средах) факторов довольно условно. Во многих случаях некоторые из рассматриваемых активных факторов реализуются последовательно либо совместно, способствуя деструкции полимерных макромолекул с образованием низкомолекулярных фрагментов и простых соединений, легко включающихся в процессы метаболизма естественных природных биосистем [7; 8].

К *гидроразлагаемым* упаковкам относятся полимеры на основе растительного сырья и молочной кислоты. В эту же группу входят и синтетические пластики на основе полиэтилена и полипропилена со специальными добавками типа крахмала, которые трансформируются в продукты гидролиза. В процессе разложения таких упаковок выделяется газ метан [8–10].

На основе ферментативных технологий синтеза пептидов и протеинов из композиций, содержащих микроорганизмы, синтезируют гидроразлагаемый материал с хорошими барьерными свойствами, который наносят непосредственно на пищевой продукт [11–13]. Одним из направлений создания *фоторазрушаемых* полимеров является введение в полимерную цепь «светочувствительных» групп, например карбонильных, или путем введения в объем полимерного материала фотосенсибилизаторов, обеспечивающих абсорбцию УФ-лучей и вызывающих их деструкцию почвенной микрофлорой [14; 15]. К современным физическим методам уничтожения использованной полимерной упаковки относят радиационную обработку [16]. Для этого применяют β -частицы, γ -лучи и нейтроны, энергия которых значительно выше энергии связей в макромолекулах. Полимерные отходы подвергают радиационной деструкции, в результате этого процесса образуются олигомерные и низкомолекулярные свободные радикалы. При взаимодействии с кислородом воздуха запускается ряд цепных реакций, ведущих к деструкции макромолекул полимеров. Под воздействием техногенных и природных факторов макромолекулы полимерных упаковочных материалов превращаются в низкомолекулярные вещества (эфиры, кислоты, спирты и др.), которые

вовлекаются в природный круговорот веществ, не нанося вред экологии. Известен метод фотодетормаций, с помощью которого можно прогнозировать долговечность полимерных материалов, подвергающихся воздействию факторов окружающей среды [17].

В производстве упаковочных термоформованных изделий и пленок, способных к *биодеструкции под действием климатических факторов и микроорганизмов*, известны биоразлагаемые полимерные материалы, содержащие смесь крахмала с поливиниловым спиртом [18] и смесями полиолефинов [19–23].

Во всех случаях биоповреждений наблюдается взаимодействие живых организмов и полимеров. Биоповреждения могут быть вызваны следующими факторами:

- макроорганизмами (животными, высшими растениями);
- микроорганизмами (бактериями, грибами).

Механизм биоразложения различается в зависимости от типа полимера, микроорганизмов и условий окружающей среды. Выделяют три вида воздействия микроорганизмов на полимерные материалы [24]:

- механическое;
- действие продуктов метаболизма (органических кислот, ферментов, аминокислот, пигментов) на основные физико-химические и технологические свойства материалов;
- биозагрязнение полимерных материалов и изделий из них.

Под влиянием биохимических агентов, которые в итоге приводят к получению более простых химических структур из макромолекулярного соединения, лежащего в основе полимерного материала, происходит *биодеградация* – комплекс процессов разложения полимера или полимерного материала. В таблице 1 приведены определения понятия «биодеградация» в соответствии со стандартами ISO [25]. Различают первичную биодеградацию, т.е. изменения в химической структуре полимера, сопровождающуюся изменением его специфических свойств, а также полную биодеградацию, ведущую к общей минерализации материала с образованием диоксида углерода или метана, а также воды, 68 минеральных солей и новой биомассы.

Таблица 1 – Определения понятия «биодеградация»

Стандарт	Биодеградация полимеров
ISO 472-2013	Значительные изменения в химической структуре под действием окружающих природных условий, в том числе под действием микроорганизмов, за определенное время с потерей свойств, которые могут быть измерены стандартными методами.
ASTM° D20-96	Деградация пластмассы под действием встречающихся в природе грибов *, бактерий ** и водорослей.
DIN° 103.2-1993	Пластмасса называется подвергшейся биоразложению, если ее органическая часть подверглась полному процессу разложения под действием биологических агентов и результат разложения может быть подтвержден стандартными методами испытания.
Японское общество по биодеградации пластмасс	Полимерный материал изменяет свой молекулярный вес до уровня низкомолекулярных соединений в процессе метаболизма с участием микроорганизмов, встречающихся в природе.
Примечания: ♦ – наиболее агрессивными из микроорганизмов являются плесневые грибы: <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus amstelodamii</i> , <i>Aspergillus ruber</i> , <i>Penicillium purpurogenum</i> , <i>Penicillium brevi-compactum</i> , <i>Penicillium commune</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Paccellomyces</i> , <i>Aspergillus wamori</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Trichoderma</i> . ♦♦ – в биоповреждении полимеров участвуют бактерии родов <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> и др. Источник: [25].	

За счет разрастания мицелия плесневых грибов происходит механическое разрушение полимеров. Мицелий грибов использует для своего развития очень тонкие

трещины, поры материала, образующиеся на границе раздела фаз и поверхностей в материале [15]. К примеру [26], плесневые грибы *Penicillium simplicis simum* способны за три месяца частично утилизировать полиэтилен, предварительно обработанный азотной кислотой. Бактерии адаптируются к синтетическим полимерам и с помощью разнообразных ферментов и продуктов метаболизма разрушают различные по химическому составу высокомолекулярные соединения до низкомолекулярных фракций [15]. Относительно быстро разлагают полиэтилен бактерии *Nocardia asteroides*, обитающие в кишечнике индийской моли (*Plodia interpunctella*). Бактерии способны разложить 100 миллиграммов полиэтилена за восемь недель, личинки восковой моли *Galleria mellonella* могут утилизировать полиэтилен еще быстрее [27]. В Японии выведен специальный штамм бактерии из рода *Pseudomonas*, которые вырабатывают фермент, расщепляющий поливиниловый спирт. Поэтому эти бактерии добавляют к активному илу сточных вод для более полной очистки от этого полимера.

Немаловажное значение в процессе биоразложения имеют различные наполнители полимерных материалов. Большим разрушениям подвергаются материалы, в состав которых входят органические наполнители, являющиеся питательной средой для различных микроорганизмов. При этом помимо разрушения материала, связанного с уничтожением наполнителя бактериями, наблюдается эффект дополнительной деструкции, обусловленной особенностями структур наполненного полимера. Как известно [15], наполнитель может скапливаться в менее упорядоченных областях полимера. Кроме того, плотность упаковки макромолекул в граничных слоях системы «полимер – наполнитель» приблизительно вдвое меньше, чем в остальном объеме неупорядоченной фазы полимера. Поэтому при уничтожении наполнителя микроорганизмами облегчается их доступ к менее стойкой по отношению к биодеградации части полимера. Так, в поливинилхлориде на границе «наполнитель – модифицированный полимер» образуются дефектные участки, что приводит к проникновению микроорганизмов внутрь материала и их дальнейшему росту [14].

Процесс биодеградации можно разделить на следующие три стадии: *биодестерирование, биофрагментация и ассимиляция*.

Биодестерирование иногда называют разложением на уровне поверхности, которое изменяет механические, физические и химические свойства материала. Эта стадия происходит, когда материал подвергается воздействию абиотических факторов внешней среды, и разложение – за счет ослабления структуры материала. К некоторым абиотическим факторам, влияющим на эти начальные изменения, относят сжатие (механическое), свет, температуру и химические вещества в окружающей среде. Биодестерирование в некоторых случаях может происходить параллельно с биофрагментацией [28].

Биофрагментация полимера – это литический процесс, в котором связи внутри полимера расщепляются с образованием олигомеров и мономеров, может проходить либо в присутствии кислорода (аэробное пищеварение), либо в отсутствии кислорода (анаэробное сбраживание) [24; 27].

Аэробное сбраживание происходит быстрее, чем анаэробное, тогда как анаэробное сбраживание лучше снижает объем и массу материала. Благодаря способности анаэробного сбраживания уменьшать объем и массу отходов и производить природный газ, технология анаэробного сбраживания широко используется в системах управления отходами и в качестве ресурсе местных возобновляемых источников энергии [29]. На стадии ассимиляции продукты биофрагментации интегрируются. Некоторые из продуктов фрагментации легко переносятся внутри клетки с помощью мембранных переносчиков, а другие подвергаются реакциям биотрансформации для дальнейшей транспортировки внутри клетки, включаясь в катаболические процессы, которые приводят либо к выработке АТФ, либо к образованию элементов структуры клетки [28].

В процессе жизнедеятельности на полимерных материалах микроорганизмы способны выделять огромное количество самых разнообразных метаболитов, которые

негативно влияют на свойства материалов. Окислительное брожение, вызываемое плесневыми грибами и окислительными бактериями, возможно из-за того, что микроорганизмы выделяют особые окислительно-восстановительные ферменты. Действие продуктов метаболизма способствует прохождению в основном двух процессов, приводящих к биодegradации: гидролизу и окислению [24; 30; 31].

Группу материалов, в состав которых входят добавки, способствующие разложению при участии воздуха, относят к *оксоразлагаемым (ОХО)*. CEN (Европейская организация по стандартизации) определяет оксобiorазложение как «разложение в результате окислительных и клеточно-опосредованных явлений либо одновременно, либо последовательно». Хотя иногда их называют «оксофрагментируемый» и «оксоразлагаемый», эти термины описывают только первую или окислительную фазу и не должны использоваться для материала, который разлагается в процессе оксобiorазложения, определенном CEN. Таким образом, правильное название – «оксобiorазлагаемый» [25].

Оксоразлагаемыми являются, например, пакеты из полиэтилена с добавками солей переходных металлов (Co, Ni, Fe). Разработан материал, в который введена специальная добавка (*d2w-degradable towater*), ускоряющая его распад на фрагменты под действием света и кислорода. Разложение таких пластиков в естественных условиях осуществляется в два этапа. На первом этапе под действием света и кислорода происходит распад изделия на мелкие фрагменты полиэтилена и соли металлов, которые в дальнейшем расщепляются под воздействием микроорганизмов

Основными производителями оксобiorазлагающих добавок на сегодняшний день являются следующие компании [32]:

Symphony Environmental (Великобритания) – мировой лидер и пионер в разработке добавок для производства обычных пластмасс, биоразлагаемых и защитных технологий для улучшения качества пластмассовых изделий. Основной ее продукт – *d2w*, который используют более чем 60 в странах мира. Однако еще в 2015 г. в суде Милана постановили, что добавка *d2w* не является соответствующей европейскому стандарту промышленного компоста EN 13432, а пластиковые пакеты и другие упаковки, содержащие ее, юридически не могут относиться к биоразлагаемым.

Willow Ridge Plastics (WRP) – один из ведущих производителей оксобiorазлагаемых добавок для пластиков. Добавки фирмы нетоксичны, безопасны для использования в пищевой отрасли. Продукты приняты во всем мире как соответствующие самому высокому стандарту в индустрии.

Bio-Tec Environmental (США) является создателем технологии *EcoPure*. Добавки *EcoPure* используют более чем с 15 полимерами, которые разлагаются микроорганизмами по принципу оксоразложения.

ECM Bio Films (США) является лидером движения за устойчивое развитие в промышленности по переработке пластмасс, создавая решения для производства биоразлагаемых пластиков. *ECM Biofilms* выпускает добавки для полистирола, полиуретанов и ПЭТФ, разлагаемые микроорганизмами.

Nor-X Industry AS (Норвегия) выпускает продукт *Renatura*, содержащий уникальный ингредиент на основе железа, который используется в основном для биоразложения полиолефинов.

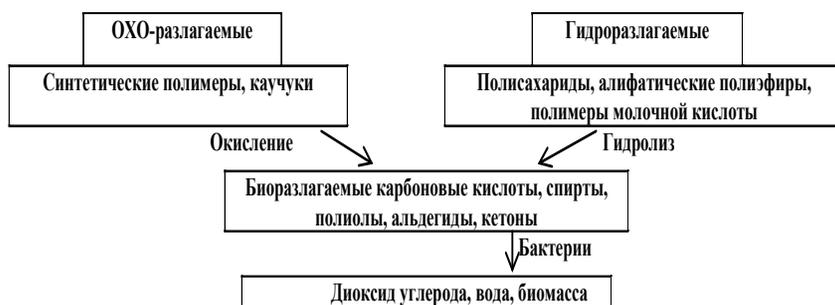
Wells Plastics Ltd (Великобритания) выпускает продукт *Reverte*, содержащий продеграданты из ионов металла для придания основному полимеру фото- и термо-разлагаемости, а также уникальный усилитель биоразложения второго этапа, на котором используется модификатор скорости реакции для управления иницированием и сроками оксобiorазложения.

TOSAF (Израиль) разработала добавку OX5854 на основе полисахаридов, способствующую разложению полимерного материала в течение месяца под влиянием УФ-излучения, высокой влажности и температуры.

Применение оксоразлагаемых пластиков обеспечивает следующие экологические преимущества:

- могут быть легко получены композиции путем компаундирования добавок с исходным полимером в процессе экструзии, литья;
- подвергаются вторичной переработке;
- возможен их пиролиз с целью получения исходных веществ или горючего;
- трансформируются в биоразлагаемые фрагменты, разрушающиеся под действием света и тепла;
- медленно превращаются в диоксид углерода;
- максимально превращаются в биомассу в процессе разложения при компостировании или в грунте;
- не образуют метан.

Одним из важнейших преимуществ оксобiorазлагаемых пластиков является их неспособность к образованию метана, поскольку биоразложение этих пластиков – аэробный процесс, инициируемый кислородом воздуха, теплом и светом. Анаэробный процесс присущ гидробiorазлагаемым пластикам, первичной стадией разложения которых является гидролиз. На рисунке 2 представлены схемы двух процессов – аэробного и анаэробного [24]. Тем не менее, согласно выводам Еврокомиссии, не существует неопровержимых доказательств благоприятного воздействия оксоразлагаемого пластика на окружающую среду [33].



Источник: [24].

Рисунок 2 – Процесс разложения полимерных материалов

Независимое исследование, проведенное в соответствии с международными стандартами, показало, что за 350 дней лишь 15 % оксоразлагаемого полиэтилена разлагается в почве до диоксида углерода [34].

Выводы Еврокомиссии не вызывают сомнений, что оксоразлагаемый пластик, в том числе и пакеты из этого материала, может распадаться быстрее обычного пластика в открытой среде. Однако нет подтверждений того, что впоследствии оксоразлагаемый пластик полностью и в разумные сроки разложится в условиях свалок, в открытой среде или воде. Отдельно отмечается, что в условиях свалок и в морской среде быстрый биораспад невозможен.

В силу вышесказанного ряд ученых, международные и правительственные организации, исследовательские лаборатории, промышленные ассоциации производителей пластика, переработчики и другие эксперты пришли к выводу, что оксоразлагаемый пластик не является решением проблемы загрязнения окружающей среды и что он не подходит для длительного использования, переработки и изготовления компоста. Значителен риск того, что мелкие фрагменты пластика не подвергнутся полному биораспаду, а следовательно, в ускоренном темпе и увеличенном объеме попадут в окружающую среду, в особенности в морскую воду.

Присутствие микропластика в окружающей среде давно является общепризнанной мировой проблемой, требующей немедленных действий, которые заключаются не только в очистке загрязненных пластиком территорий, но и в предотвращении

пластикового загрязнения как такового. Не имеют доказательств заявления о том, что оксоразлагаемый пластик является оксо- и биоразлагаемым, решит проблему замусоривания, не имеет влияния на окружающую среду, не оставляет за собой токсического следа и фрагментов исходного материала. В отсутствие неоспоримых доказательств благотворного воздействия оксоразлагаемого пластика на окружающую среду, в рамках европейской стратегии в отношении оксоразлагаемого пластика будет запущен процесс его запрета в Евросоюзе [33]. В настоящее время активно разрабатывают и вводят стандарты для тестирования ОБПП (охо-biodegradation standards): BS 8472-2011 (UK), ASTM D 6954 (USA), SPCR 141 (Sveden), AC T51-808-2012 (France), S5009 (UAE). На территории Республики Беларусь с 1 сентября 2019 г. действует межгосударственный стандарт ЕАЭС ГОСТ 34281 «Оксобiorазлагаемая упаковка. Метод оценки оксобiorазградации полимерных пленок» [35].

Тем не менее на сегодняшний день продолжают исследования по разработке материалов, не оказывающих негативного влияния на окружающую среду. Десятки фирм во всем мире разрабатывают торговые марки и состав таких материалов [36].

Следует отметить, что нет универсального определения биоразложения, а существуют различные определения компостирования, что приводит к большой путанице в терминологии. *Биоразложение* – это естественное разложение материалов в природной среде. *Компостирование* – это управляемый человеком процесс, в котором биоразложение происходит при определенных обстоятельствах в разные периоды времени. Конечный продукт компостирования не только возвращается в свое прежнее состояние, но также генерирует и добавляет в почву полезные микроорганизмы, называемые гумусом. Компостирование происходит более последовательно и в короткие сроки в отличие от биоразложения [28].

В различных странах существуют свои требования по «компостируемости» отходов. Например, в Европе выдвинуты следующие требования к компостируемости материала, определяемые стандартом EN 13432 (ASTM D6400) [7]:

- химическая характеристика – органическая доля >50 %, предельные значения токсичных компонентов;
- биоразлагаемость – при проведении лабораторного теста не разлагаются или разлагаются на субстанции максимум 5 %, остальные разлагаются до CO₂, H₂O, солей и биомассы 90 % фрагментов по размеру;
- компостируемость – определяется полевыми испытаниями, норма – менее 2 мм по прошествии 12 недель;
- экотоксичность – частота прорастания специальных растений >90 % в неочищенной почве.

Таким высоким требованиям практически соответствуют только пленки. Изделия большей толщины перед компостированием необходимо измельчать. Для четкой маркировки компостируемых пластмассовых изделий существуют различные сертификаты (с соответствующими логотипами, например, в виде рассады).

Полимеры на биооснове, не пригодные для компостирования (например, био-PE), идентичны своим обычным химическим аналогам и могут перерабатываться в рамках существующих технологий рециклинга.

Таким образом, сбор и утилизация биоразлагаемых пластмасс должны происходить отдельно от вторичных отходов пластмасс, иначе они будут отрицательно воздействовать на свойства и качество конечного продукта из вторичных пластмасс.

2. Съедобные пленки и покрытия. Единственным видом биоразлагаемой полимерной упаковки, которая не нуждается в индивидуальном сборе и особых условиях утилизации, являются съедобные пленки и покрытия. В качестве съедобной упаковки используют пленки (толщина до 250 мкм), покрытия, а также листы (толщина более 250 мкм), пакеты, мягкие гелевые капсулы и твердые покрытия на таблетках, которые изготавливают из пищевых полимеров [37–41].

Пленкообразующей основой в случае съедобных покрытий являются природные полимеры – полисахариды. Наибольшее распространение получили производные крахмала, желатина и целлюлозы, альгинаты натрия и кальция, выделенные из бурых морских водорослей. Съедобные полимерные пленки предотвращают потерю влаги, контролируют обмен таких газов, как кислород, диоксид углерода, придают продукту формоустойчивость и устойчивость к изменению качества в целом, а также обеспечивают стерильность поверхности продукта и сохранение в них важных компонентов [39; 42].

Съедобные пленки на основе природных полимеров обладают высокой сорбционной способностью, что предопределяет их положительное физиологическое воздействие. Так, при попадании в организм эти вещества адсорбируют и выводят ионы металлов, радионуклиды (продукты радиоактивного распада) и другие вредные соединения, выступая, таким образом, в роли детоксиканта. Благодаря введению в полимерную оболочку специальных добавок (ароматизаторов, красителей) можно регулировать вкусоароматические свойства собственно пищевого продукта в съедобной пленке. Съедобная оболочка может изменять сенсорное восприятие продукта потребителем, что особенно важно при приеме продуктов лечебно-профилактического действия, например пищи с пониженным содержанием жира, сахарозы, с добавлением растительного (например, соевого) белка. Кроме того, способность съедобной пленки удерживать различные соединения позволяет обогащать продукты питания минеральными веществами, витаминами, комплексами микроэлементов, биофлавоноидами, всевозможными экстрактами и т.п., компенсируя дефицит необходимых человеку компонентов пищи. Пищевые пленки могут быть использованы, например, для упаковки мясных изделий, нарезанных фруктов и овощей, круп, конфет, пирожных, орехов, семян, специй и т.д. Съедобные упаковки упрощают процесс питания: не надо открывать упаковку, уменьшаются потери содержимого, нет необходимости иметь дело с большим количеством пластиковых оберток в порционных продуктах [39; 43].

Исследователи всего мира продолжают активно работать над проблемой создания съедобных пленок. Американские ученые разработали пленку на основе различных фруктов и овощей, которая отлично подходит для упаковки мяса и рыбы. Съедобная оболочка состоит из фруктовых или овощных пюре с добавлением жирных кислот, спиртов, воска, растительного масла. Она не только увеличивает срок хранения, но и позволяет потребителю самому выбрать ее вкус.

Бразильская корпорация сельскохозяйственных исследований и компания *Embrapa Instrumentation* создали съедобные пластиковые пленки из фруктов и овощей. Например, можно разогреть пиццу в микроволновке и съесть ее вместе с упаковкой, которая состоит из томатов и при разогреве становится частью продукта. Съедобный пластик произведен из обезвоженных продуктов, смешанных с наноматериалом, который обладает связующей функцией.

В Испании был разработан гель для упаковки из алоэ вера. Этот гель может стать натуральной и безвредной для окружающей среды альтернативой традиционным консервантам, которые наносят на фрукты после сбора урожая. Исследователи полагают, что благодаря высокому содержанию натуральных противогрибковых компонентов и антибиотиков гель может использоваться и для сохранения качества мясных продуктов.

В пищевой промышленности популярны съедобные покрытия и пленки из хитозана, которые наносят на поверхность плодов и овощей и защищают их от микроорганизмов. Российские ученые изобрели упаковку, которая на 90 % состоит из тех же веществ, что и сам продукт с использованием альгината натрия. Разработана уникальная съедобная пленка на основе овощного или фруктового пюре для упаковки продуктов питания для космонавтов. В Украине предложена упаковочная пленка из кукурузного крахмала, которую можно съесть вместе с запакрованными в нее продуктами или использовать в качестве бульона, растворив ее в кипятке [37].

Ученые ОАО «Борисовский завод полимерной тары «Полимиз»» в сотрудничестве с БГУ разработали съедобную пленку, которая состоит из крахмала и пищевых

полимеров на основе воды с улучшенными физико-механическими и химическими показателями [44]. Она отлично усваивается организмом, увеличивает срок хранения продуктов, а также подходит для нанесения печати съедобными чернилами. Получаемый продукт не просто экологически и клинически чист, а также пригоден в пищу, повышает сохранность продуктов, улучшает их вкусовые качества и полезные свойства и даже способен предупреждать ряд заболеваний.

Инициатива белорусских ученых позволяет разумнее распоряжаться ресурсами страны, а в итоге будет выгодной и самому потребителю. Спектр применения съедобной упаковки широк: уже сегодня специалисты предлагают антикариесные пленки с добавлением антимикробных добавок – куркумы и гвоздики. Если обернуть в них шоколад, можно не бояться проблем с зубами. Съедобная упаковка не загрязняет окружающую среду и позволяет решить проблему сокращения количества бытовых отходов [45].

В таблице 2 представлены составы некоторых съедобных пленок и покрытий для продуктов питания [42].

В таблице 3 представлены примеры использования биоразлагаемых пленок для упаковки фруктов и овощей [46].

Таблица 2 – Составы съедобных пленок и покрытий для продуктов питания

Материал съедобных пленок и покрытий	Продукты питания
1	2
Фрукты и овощи	
Альгинат натрия + пектин + коричный альдегид	Ананас
Альгинат натрия	Грибы, вишня
Альгинат натрия + подсолнечное масло + аскорбиновая и лимонная кислоты	Манго
Альгинат натрия + сорбат калия	Хурма
Альгинат натрия + подсолнечное масло / альгинат натрия + геллановая камедь	Ананас
Альгинат натрия + циклодекстрин + пектин + коричный альдегид + лактат кальция	Арбуз
Альгинат натрия + пюре черешни + кукурузный сироп	Черешня (барбадосская вишня)
Крахмал маниоки	Клубника
Крахмал маниоки + перманганат калия + лактат кальция + глицерин + полиэтиленгликоль	Хурма
Крахмал маниоки + минеральное масло	Мандарины
Крахмал маниоки + кукурузный крахмал	Тыква
Рисовый крахмал + кокосовое масло + экстракт чая	Томат
Крахмал тапиоки + аскорбиновая кислота + масло корицы	Яблоки
Кукурузный крахмал + пчелиный воск	Малина
Крахмал + цветок мускатного ореха + растительное масло	Гранат
Хитозан + уксусная кислота	Спаржевая фасоль, гранат, нарезанные яблоки
Хитозан	Брокколи, хурма
Хитозан + уксусная кислота + олеиновая кислота / пчелиный воск + казеинат кальция + олеиновая кислота	Сушеный ананас
Хитозан + пальмовый стеарин + уксусная кислота	Карамбола (фрукт)
Хитозан / многослойный пектин	Папайя
Хитозан + крахмал	Апельсин (ponkan)
Хитозан + арабская камедь	Банан, папайя
Карбоксилметилцеллюлоза + подсолнечное масло	Муртилла
Карбоксилметилцеллюлоза	Клубника, дуриан

Продолжение таблицы 2

1	2
Карбоксиметилцеллюлоза + лимонная кислота	Мандарины
Карбоксиметилцеллюлоза + лимонная кислота + полиэтиленгликоль 400	Хурма
Карбоксиметилцеллюлоза + каррагинан	Грибы
Гидроксипропилметилцеллюлоза + шеллак + пчелиный воск	Мандарин
Каррагинан	Папайя
Пектин + лактат кальция	Дыня
Пектин + эфирное масло корицы	Персик
Пектин + пчелиный воск	Манго
Пальмовое масло	Гуава
Трагакантовая камедь + алое вера + лимонная кислота	Грибы
Казеинат кальция + пчелиный воск + олеиновая кислота	Сушеный ананас
Казеинат кальция + изолят белка молочной сыворотки	Клубника
Изолят соевого белка	Яблоки
Желатин + сорбат калия + глицерин	Хурма
Желатин + карбоксиметилцеллюлоза	Гуава
Белок рисовых отрубей + экстракт семян грейпфрута	Клубника
Воск + кокосовое масло / горчичное масло / кунжутное масло / касторовое масло	Лимон
Карнаубский воск + минеральное масло	Томат
Эмульсия пчелиного воска	Сладкий перец, манго и авокадо
Многослойный нанополиэлектролит	Манго
Полимер на основе сахарозы	Мандарин, бобовые и орехи
Карбоксиметилцеллюлоза, камедь кордии (Cordia)	Кедровый орех
Карбоксиметилцеллюлоза, метилцеллюлоза, изолят белка молочной сыворотки	Арахис
Изолят соевого белка + карбоксиметилцеллюлоза + катехин	Грецкий орех
Гороховый крахмал + изолят белка молочной сыворотки + карнаубский воск	Грецкий орех, кедровый орех
Молочные изделия и закуски	
Изолят белка молочной сыворотки	Сыр
Пектин + карбоксиметилцеллюлоза + гуаровая камедь + ксантановая камедь	Жареные картофельные полоски
Красные водоросли	Сыр
Мясо, птица и рыба	
Выделенный сывороточный протеин + эфирные масла	Сушеная рыба
Хитозан + уксусная кислота + чайный полифенол	Карп
Хитозан + гидролизат рыбных мышц	Карп
Крахмал (картофельные отходы) + эфирное масло орегано	Копченый лосось
Белок ячменных отрубей + желатин	Лосось
Карбоксиметилцеллюлоза + экстракт розмарина	Говядина
Белок молочной сыворотки	Замороженный анчоус, замороженный лосось
Белок из семян хлопка + наноглина + карвакрол	Бекон
Желатин + пробиотики	Охлажденный хек
Яблочное / томатное пюре + коричный альдегид / карвакрол	Запеченная курица
Обезжиренная горчичная мука + ксантановая камедь	Копченый лосось
Красные водоросли + экстракт семян грейпфрута	Бекон
Альгинат натрия + эфирное масло мяты	Радужная форель
Источник: [42].	

Таблица 3 – Примеры использования биоразлагаемых пленок для упаковки фруктов и овощей

Тип / состав пленки	Преимущества от использования
Пакет <i>Master-Bi®</i> на основе крахмала	Качество томатов в биоразлагаемых упаковках было таким же, как и качество томатов, хранящихся в пакетах на основе ПЭВД в течение 3 недель
Крахмал из сладкого картофеля и глицерин	Срок годности свежей клубники составлял 14 дней, а для упакованных в крахмальную пленку образцов, – 21 день
Банановый крахмал и хитозан	Разработаны композитные пакеты для защиты спаржи, кукурузы и китайской капусты от золотистого стафилококка
Хитозан и казеинат натрия	Антимикробный эффект против грибов и дрожжей при нанесении на ломтики моркови
Хитозан, метилцеллюлоза и ванилин	Сокращение микробной популяции в свежем ананасе на 4 порядка (на 6-й день)
КМЦ, содержащая сорбат калия	Активность против грибов вида <i>Aspergillus</i> в свежих фисташках
Пленки на основе МЦ, поликапролактона и АН с антимикробными агентами	Пленки контролировали рост <i>Salmonella typhimurium</i> в течение 12 дней и рост <i>L. monocytogenes</i> и <i>E. coli</i> в течение 4 дней на соцветиях брокколи при хранении при 4 °С
ПЛА с луковым экстрактом	Разработанная пленка эффективна для готовых к употреблению салатов до 5 дней хранения при 4 °С
Пшеничный глютен	Срок хранения клубники продлен на 12 дней при 7–10 °С
Зеиновые пленки с олеиновой кислотой (пластификатор)	Срок хранения свежих соцветий брокколи продлен на 6 дней
Яблочное пюре с жирными кислотами, жирными спиртами, пчелиным воском и растительным маслом	Снижение потери влаги, отсутствие потемнения свежесрезанных яблок в течение 12 дней при 5 °С
Источник: [46].	

Таким образом, анализ решения проблем утилизации упаковочных материалов свидетельствует о мировой тенденции в области создания самодеструктурируемых материалов – биоразлагаемых и съедобных.

Заключение. Высокие требования экологической безопасности, предъявляемые к упаковочным материалам, вызвали к жизни новые виды переработки полимерных отходов путем их саморазложения (самодеструкции) под действием процессов био-, фото- и гидродеградации. Перспективы использования таких экологически безопасных материалов направлены на рациональное использование и сохранение окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Утилизация упаковочных материалов как основа экологической безопасности: традиционные материалы / И. Ю. Ухарцева [и др.] // Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 60–71.
2. Кржан, А. Биоразлагаемые полимеры и пластики [Электронный ресурс] / А. Кржан // DocPlayer.com. – 2021. – Режим доступа : <https://docplayer.com/26988239-Biorazlagaemye-polimery-i-plastiki-andrey-krzhan.html>. – Дата доступа : 27.06.2021.
3. Касьянов, Г. И. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов / Г. И. Касьянов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 112–119.
4. Копытова, Ю. Непристойное предложение, или уроки биохимии для продвинутых упаковщиков. Экология [Электронный ресурс] / Ю. Копытова, О. Скворцова // Формация. – 2007–2021. – Режим доступа : <https://formacia.ru/articles/nepriстойное-predlozhenie-ili-uroki-biokhimii>. – Дата доступа : 14.05.2021.
5. Физико-механические свойства биоразлагаемых композитов на основе зеина и глюкоманнана / И. Б. Исмаилов [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 25–32.
6. Липик, В. Т. Рециклинг и утилизация полимерных отходов / В. Т. Липик, Н. Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2008. – 290 с.
7. Арамов, В. В. Биополимеры: спасение или утопия? / В. В. Арамов, Н. М. Чалая // Пластические массы. – 2019. – № 5–6. – С. 63–66.
8. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала (обзор) / Е. Н. Подденежный [и др.] // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2015. – № 2 (61). – С. 31–41.

9. Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 1 / И. Ю. Потороко [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 21–28.
10. Ермолович, О. А. Биоразлагаемые упаковочные пленки на основе химически модифицированных полиолефинов и крахмалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / О. А. Ермолович ; Бел. гос. технol. ун-т. – Минск, 2006. – 21 с.
11. Цветкова, Е. А. Ферментативный способ получения казеина с использованием культуры дрожжей *Saccharomycetes cerevisiae* / Е. А. Цветкова, И. Ю. Ухарцева, Т. В. Арастович // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2014. – № 6 (87). – С. 96–100.
12. Способ получения казеина : пат. ВУ 15816 / Л. С. Пинчук, Д. А. Орехов, Н. В. Кузьменкова, Е. А. Цветкова, В. Е. Сыцко. – Опубл. 30.04.2012.
13. Способ производства молочнокислого казеина : пат. РФ 2199233 / Г. С. Михалкина, А. В. Татьянчикова, Л. И. Васильева, С. П. Петрова, В. Д. Харитонов. – Опубл. 27.02.2003.
14. Шаповалов, В. М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов / В. М. Шаповалов, З. Л. Тартаковский ; под общ. ред. Ю. М. Плещачевского. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2003. – 262 с.
15. Пехташева, Е. Л. Биоповреждения и защита непродовольственных товаров : учебник / Е. Л. Пехташева ; под ред. А. Н. Неверова. – М. : Мастерство, 2002. – 224 с.
16. Петров, А. В. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) / А. В. Петров, М. С. Дориомедов, С. Ю. Скрипачев // Труды ВИАМ. – 2015. – № 8. – С. 62–73.
17. Ухарцева, И. Долговечность полимерных материалов. Дифференциальное и интегральное влияние различных факторов / И. Ухарцева, Л. Корецкая. – Deutschland : LAP Lambert Academic Publishing. Omni Scriptum GmbH&Co. KG, 2014. – 95 p.
18. Композиция для получения биоразлагаемого полимерного материала и биоразлагаемый полимерный материал на ее основе : пат. РФ 2669865 / О. Н. Малинкина, В. Ю. Папкина, А. Б. Шиповская. – Опубл. 18.10.2016.
19. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе крахмала и смеси полиолефинов / Е. Н. Подденежный [и др.] // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2021. – № 1. – С. 53–60.
20. Романова В. А. Биоразлагаемые полимерные композиции, модифицированные ультразвуковой обработкой в процессе экструзии : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.06 / В. А. Романова. – М., 2020. – 127 л.
21. Leja, K. Polymers biodegradation and biodegradable polymers – a review / K. Leja, G. Lewandowicz // Polish J. of Environ. Stud. – 2010. – Vol. 19, No. 2. – P. 255–266.
22. Подденежный, Е. Н. Биоразлагаемые композиционные материалы на основе смесей крахмала и синтетических полимеров / Е. Н. Подденежный // Горная механика и машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 89–95.
23. Nwanonenyi, S. C. Effect of soil burial on properties of polypropylene (pp)/ plasticized potato starch (pps) blends / S. C. Nwanonenyi, I. O. Arukalam, P. C. Uzoma // The International Journal of Engineering and Science (IJES). – 2013. – Vol. 2, No. 8. – P. 14–18.
24. Крутько, Э. Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов : учеб.-метод. пособие / Э. Т. Крутько, Н. Р. Прокопчук, А. И. Глоба. – Минск : БГТУ, 2014. – 105 с.
25. Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов [Электронный ресурс] // Уральский федеральный университет. – 2004–2021. – Режим доступа : <https://elar.urfu.ru/handle/10995/1575>. – Дата доступа : 14.05.2021.
26. Новые факты о биоразлагаемых полимерах [Электронный ресурс] // Pack Systems. – 2018. – Режим доступа : <https://www.packbel.by/mag/stati/interesnye-fakty-o-biorazlagaemyh-polimerah1>. – Дата доступа : 24.04.2021.
27. Микробиология : учебник / И. Ю. Ухарцева [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2012. – 288 с.
28. Биоразлагаемый и компостируемый [Электронный ресурс] // Bio Partner Baltic OÜ. – 2021. – Режим доступа : <https://www.biobag.ee/биоразлагаемый-и-компостируемый/?lang=ru>. – Дата доступа : 15.05.2021.
29. Микробиология и санитария : учеб. пособие / И. Ю. Ухарцева [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2006 – 332 с.
30. Филиппович, Ю. Б. Основы биохимии : учебник / Ю. Б. Филиппович. – 4-е изд., перераб., доп. – М. : Агар, 1999. – 512 с.
31. Белясова, Н. А. Биохимия и молекулярная биология : учеб. пособие / Н. А. Белясова. – Минск : Книжный Дом, 2004. – 416 с.
32. Часть вторая. Все о биоразлагаемых пластиках. Мировой рынок биополимеров – 2019 [Электронный ресурс] // Инжиниринговый химико-технологический центр (ИХТЦ). – 2016–2021. – Режим доступа : <https://ect-center.com/blog/biodegradable-polymers>. – Дата доступа : 23.05.2021.
33. Отчет Еврокомиссии о вреде оксоразлагаемых пластиков [Электронный ресурс] // ЭкоПорт. – 2017. – Режим доступа : <http://ecorportus.ru/node/927>. – Дата доступа : 23.05.2021.
34. Биоразлагаемые пластиковые пакеты: миф или реальная польза [Электронный ресурс] // Mentamore : Информационно-познавательный портал. – 2012–2021. – Режим доступа : <https://mentamore.com/eko-frendli/biorazlagaemye-plastikovye-pakety.html>. – Дата доступа : 18.04.2021.

35. Попов, А. А. О стандартизации оксо-биоразлагаемости пластиков / А. А. Попов, Е. В. Воробьева // Полимерные материалы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 5.
36. Ухарцева, И. Ю. К вопросу об экологической безопасности упаковочных материалов для пищевых продуктов / И. Ю. Ухарцева, Ж. В. Кадолич // Гермес. – 2013. – № 5. – С. 67–70.
37. Съедобная упаковка – уже реальность [Электронный ресурс] // Продукт.ВУ. – 2007–2021. – Режим доступа : <https://produkt.by/news/sedobnaya-upakovka-uzhe-realnost>. – Дата доступа : 14.05.2021.
38. Гольдаде, В. А. Современные тенденции развития полимерной пленочной упаковки / В. А. Гольдаде // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 65–70.
39. Съедобная упаковка – шаг в будущее [Электронный ресурс] // Группа компаний «Флекс-н-Ролл». – 2021. – Режим доступа : <https://flex-n-roll.ru/blog/eating>. – Дата доступа : 11.05.2021.
40. Савицкая, Т. А. Съедобные полимерные пленки и покрытия: история вопроса и современное состояние (обзор) / Т. А. Савицкая // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 6–36.
41. Ухарцева, И. Ю. Современные тенденции применения высокомолекулярных соединений в создании упаковочных материалов для пищевых продуктов (обзор) / И. Ю. Ухарцева // Пластические массы. – 2014. – № 9–10. – С. 57–62.
42. Ухарцева, И. Современная упаковка для пищевых продуктов / И. Ухарцева, Ж. Кадолич, Е. Цветкова // Тара и упаковка. – 2016. – № 2. – С. 18–23.
43. Шульга, О. С. Влияние желатина на свойства съедобных пленок и покрытий из картофельного крахмала / О. С. Шульга, О. А. Петруша // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 64–70.
44. Ухарцева, И. Упаковка продуктов питания: тенденции и перспективы / И. Ухарцева, В. Гольдаде, Е. Цветкова. – Deutschland : LAP Lambert Academic Publishing, Omni Scriptum GmbH&Co. KG, 2019. – 251 p.
45. Биодegradуемые съедобные пищевые пленки и покрытия [Электронный ресурс] // Export.by. Портал информационной поддержки экспорта. – 2000–2021. – Режим доступа : <https://export.by/product/26273>. – Дата доступа : 12.06.2021.
46. Biodegradable Films for Fruits and Vegetables Packaging Application: Preparation and Properties / H. P. S. Abdul Khalil [et al.] // Food Engineering Reviews. – 2018. – Vol. 10, issue 3. – P. 139–153.

Поступила в редакцию 12.10.2021.

“Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science”
Vol. 12, No. 1, 2022, pp. 74–89
© Yanka Kupala State University of Grodno, 2022

Utilization of polymer packaging materials as a basis of environmental safety: biodegradable and edible materials

I. Yu. Ukhartseva¹, E. A. Tsvetkova², V. A. Goldade³, V. M. Shapovalov⁴

¹ P. O. Sukhoi Gomel State Technical University (Belarus)
Oktjabria Ave., 48, 246029, Gomel, Belarus; e-mail: ukhartseva@yandex.ru

² V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
Kirova St., 32a, 246050, Gomel, Belarus; e-mail: tsvetkovaea21@mail.ru

³ V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
Kirova St., 32a, 246050, Gomel, Belarus; e-mail: victor.goldade@gmail.com

⁴ V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
Kirova St., 32a, 246050, Gomel, Belarus; e-mail: v.shapovalov@tut.by

Abstract. The introduction presents an analysis of waste disposal methods used in different countries, which indicates certain difficulties in the disposal of polymer waste due to their greatest environmental danger, since synthetic polymers decompose for a long time in natural conditions. Today, high requirements for environmental protection dictate the emergence of new types of processing of polymer waste through their self-destruction. An actual direction in the packaging industry is the production of environmentally friendly self-destructible packaging: biodegradable and edible. The basis for the production of such packages is raw materials of animal and vegetable origin. The purpose of the work is to substantiate the advantages of self-destructible packaging as an environmentally friendly material that does not harm the environment. The main part of the article provides information about the advantages of biodegradable and edible packaging materials. The advantage of biodegradable packaging is its ability to degrade into natural components that do not require separate collection, sorting, recycling or other disposal solutions. The disposal costs of such packaging are minimal, since the waste is decomposed under the influence of natural factors: water, various types of radiation or microorganisms. Edible packaging is the only type of biodegradable plastic packaging that does not require individual collection and special disposal conditions. Such packages have a high sorption capacity, which allows them to have a positive physiological effect on the human body, enriching food with minerals, vitamins, complexes of microelements,

bioflavonoids, regulating the taste and aroma properties of the packaged food product and simplifying the nutrition process. In the conclusion, it is noted that the solution to the problems of recycling packaging materials indicates a global trend in the field of creating self-destructible materials – biodegradable and edible, the prospects of which are aimed at preserving the environment.

Keywords: packaging materials, biodegradation, hydradegradation, oxo-degradation, edible packaging, waste, utilization.

References

1. Ukhartseva I. Yu. [et al.] Utilization of packaging materials as the basis of environmental safety: traditional materials [*Utilizatsiia upakovochnykh materialov kak osnova ekologicheskoi bezopasnosti : traditsionnye materialy*]. *Vestnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science*, 2021, vol. 11, No. 2, pp. 60-71.
2. Krzhan A. Biodegradable polymers and plastics [*Biorazlagaemye polimery i plastiki*]. *DocPlayer.com*, 2021 [Electronic resource].
3. Kasiyanov G. I. Biodegradable packaging for food products [*Biorazrushaemaia upakovka dlia pishchevykh produktov*]. *Journal of Science and Education of North-West Russia*, 2015, vol. 1, No. 13, pp. 112-119.
4. Kopytova Yu., Skvortsova O. An obscene proposal, or biochemistry lessons for advanced packers. Ecology [*Nepristoinoe predlozhenie, ili uroki biokhimii dlia prodvinytykh upakovshchikov. Ekologiya*]. *Formation*, 2007-2021 [Electronic resource].
5. Ismailov I. B. [et al.]. Physico-mechanical properties of biodegradable composites based on Zein and glucomannan [*Fiziko-mekhanicheskie svoystva biorazlagaemykh kompozitov na osnove zeina i gliukomannana*]. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2020, vol. 6, No. 1, pp. 25-32.
6. Lipik V. T., Prokopchuk N. R. Recycling and disposal of plastic waste [*Retsikling i utilizatsiia polimernykh otkhodov*]. Minsk, 2008, 290 p.
7. Aramov V. V., Chkalaya N. M. Biopolymers : salvation or utopia? [*Biopolimery: spasenie ili utopiia?*]. *Plasticheskie massy*, 2019, No. 5-6, pp. 63-66.
8. Poddenezhny E. N. [et al.]. Progress in obtaining biodegradable composite materials based on starch (review) [*Progress v poluchenii biorazlagaemykh kompozitsionnykh materialov na osnove krakhmala (obzor)*]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2015, No. 2 (61), pp. 31-41.
9. Potoroko I. Yu. [et al.]. Biodegradable materials based on plant polysaccharides for food packaging. Part 1 [*Biorazlagaemye materialy na osnove rastitel'nykh polisakharidov dlia upakovki pishchevykh produktov*]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, No. 2, pp. 21-28.
10. Ermolovich O. A. Biodegradable packaging films based on chemically modified polyolefins and starches [*Biorazlagaemye upakovochnye plenki na osnove khimicheskii modifitsirovannykh poliolefinov i krakhmalov : avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk*]. Minsk, 2006, 21 p.
11. Tsvetkova E. A., Ukhartseva I. Yu., Arastovich T. V. Enzymatic method for obtaining casein using yeast culture *Saccharomyces cerevisiae* [*Fermentativnyi sposob polucheniia kazeina s ispol'zovaniem kul'tury drozhzhei Saccharomyces cerevisiae*]. *Proceedings of Francisk Scorina Gomel state university*, 2014, No. 6 (87), pp. 96-100.
12. Pinchuk L. S., Orekhov D. A., Kuzmenkova N. V., Tsvetkova E. A., Sytsko V. E. Method for obtaining casein [*Cposob polucheniia kazeina*] : pat. BY 15816. Publ. date April 30, 2012.
13. Mikhalkina G. S., Tatianchikova A. V., Vasilyeva L. I., Petrova S. P., Kharitonov V. D. Method of production of lactic acid casein [*Sposob proizvodstva molochnokislogo kazeina*] : pat. RU 2199233. Publ. date February 27, 2003.
14. Shapovalov V. M., Tartakovski Z. L. Multicomponent polymer systems based on secondary materials [*Mnogokomponentnye polimernye sistemy na osnove vtovichnykh materialov*]. Gomel, 2003, 262 p.
15. Pehtasheva E. L. Bio-damage and protection of non-food products [*Biopovrezhdeniia i zashchita neproduvol'stvennykh tovarov : uchebnik*]. Moscow, 2002, 224 p.
16. Petrov A. V., Doriomedov M. S., Skripachev S. Yu. Technologies of utilization of polymer composite materials (review) [*Tekhnologii utilizatsii polimernykh kompozitsionnykh materialov (obzor)*]. *Proceedings of VIAM*, 2015, No. 8, pp. 62-73.
17. Ukhartseva I., Koretskaya L. Durability of polymer materials. Differential and integral influence of various factors [*Dolgovechnost' polimernykh materialov. Differentsial'noe i integral'noe vliianie razlichnykh faktorov*]. Germany, 2014, 95 p.
18. Malinkina O. N., Papkina V. Yu., Shipovskaya A. B. Composition for obtaining a biodegradable polymer material and a biodegradable polymer material based on it [*Kompozitsiia dlia polucheniia biorazlagaemogo polimernogo materiala i biorazlagaemyi polimernyi material na ee osnove*] : pat. RU 2669865. Publ. date October 18, 2016.
19. Poddenezhny E. N. [et al.]. Biodegradable composite materials based on starch and mixtures of polyolefins [*Biorazlagaemye kompozitsionnye materialy na osnove krakhmala i smesi poliolefinov*]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2021, No. 1, pp. 53-60.

20. Romanova V. A. Biodegradable polymer compositions modified by ultrasonic treatment during extrusion [*Biorazlagaemye polimernye kompozitsii, modifitsirovannyye ul'trazvukovoi obrabotkoi v protsesse ekstruzii : dis. ... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, 2020, 127 p.
21. Leja K., Lewandowicz G. Polymers biodegradation and biodegradable polymers - a review. *Polish J. of Environ. Stud.* 2010, vol. 19, No. 2, pp. 255-266.
22. Poddenezhny E. N. Biodegradable composite materials based on mixtures of starch and synthetic polymers [*Biorazlagaemye kompozitsionnye materialy na osnove smesei krakhmala i sinteticheskikh polimerov*]. *Gornaia mekhanika i mashinostroenie*, 2016, No. 1, pp. 89-95.
23. Nwanonenyi S. C., Arukalam I. O., Uzoma P. C. Effect of soil burial on properties of polypropylene (pp) / plasticized potato starch (pps) blends. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 2013, vol. 2, No. 8, pp. 14-18.
24. Krutko E. T., Prokopchuk N. R., Globa A. I. Technology of biodegradable polymer materials: [*Tekhnologiia biorazlagaemykh polimernykh materialov : ucheb.-metod. posobie*]. Minsk, 2014, 105 p.
25. Recycling of polymers and the creation of environmentally friendly polymer materials [*Vtorichnaia pererabotka polimerov i sozdanie ekologicheskoi chistykh polimernykh materialov*]. Ural Federal University, 2004-2021 [Electronic resource].
26. New facts about biodegradable polymers [*Novye fakty o biorazlagaemykh polimerakh*]. Pack Systems, 2018-2021 [Electronic resource].
27. Ukhartseva I. Yu. [et al.]. Microbiology [*Mikrobiologiia : uchebnik*]. Minsk, 2012, 288 p.
28. Biodegradable and compostable [*Biorazlagaemyi i kompostiruemyi*]. *Bio Partner Baltic OÜ*, 2021 [Electronic resource].
29. Ukhartseva I. Yu. [et al.]. Microbiology and sanitation [*Mikrobiologiia i sanitaria : ucheb. posobie*]. Minsk, 2006, 332 p.
30. Filipovich Yu. B. Fundamentals of biochemistry [*Osnovy biokhimii : uchebnik*]. 4th ed. Moscow, 1999, 512 p.
31. Beliasova N. A. Biochemistry and molecular biology [*Biokhimiia i molekuliarnaia биологиia : ucheb. posobie*]. Minsk, 2004, 416 p.
32. Part Two. All about biodegradable plastics. The world market of biopolymers-2019 [*Chast' vtoraiia. Vse o biorazlagaemykh plastikakh. Mirovoi rynek biopolimerov - 2019*]. *Engineering Chemical Technology Centre (ECTC)*, 2016-2021 [Electronic resource].
33. Report of the European Commission on the harm of oxo-degradable plastics [*Otchet Evrokomissii o vrede oksorazlagaemykh plastikov*]. *EcoPort*, 2017 [Electronic resource].
34. Biodegradable plastic bags: a myth or a real benefit [*Biorazlagaemye plastikovyye pakety : mif ili real'naia pol'za*]. Copyright, 2012-2021 [Electronic resource].
35. Popov A. A., Vorobieva E. V. About standardization of oxo-biodegradability plastics [*O standartizatsii okso-biorazlagaemosti plastikov*]. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2020, vol. 6, No. 3, p. 5.
36. Ukhartseva I. Y., Cadolich J. V. About the environmental safety of packaging materials for food products [*K voprosu ob ekologicheskoi bezopasnosti upakovochnykh materialov dlia pishchevykh produktov*]. *Hermes*, 2013, No. 5, pp. 67-70.
37. Edible packaging is a reality [*S''edobnaia upakovka - uzhereal'nost'*]. *Produkt BY*, 2007-2021 [Electronic resource].
38. Goldade V. A. Modern trends in the development of polymer film packaging [*Sovremennyye tendentsii razvitiia polimernoi plenochnoi upakovki*]. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2015, vol. 1, No. 1, pp. 65-70.
39. Edible packaging is a step into the future [*S''edobnaia upakovka - shag v budushchee*]. *Flex-n-Roll group of companies*, 2021 [Electronic resource].
40. Savitskaya T. A. Edible polymer films and coatings: the history of the issue and the current state (review) [*S''edobnye polimernye plenki i pokrytiia : istoriia voprosa i sovremennoe sostoianie (obzor)*]. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2016, vol. 2, No. 2, pp. 6-36.
41. Ukhartseva I. Yu. Modern trends in the use of high-molecular compounds in the creation of packaging materials for food products (review) [*Sovremennyye tendentsii primeneniia vysokomolekuliarnykh soedinenii v sozdanii upakovochnykh materialov dlia pishchevykh produktov (obzor)*]. *Plasticheskie massy*, 2014, No. 9-10, pp. 57-62.
42. Ukhartseva I., Kadolich Zh., Tsvetkova E. Modern packaging for food products [*Sovremennaia upakovka dlia pishchevykh produktov*]. *Tara i upakovka*, 2016, No. 2, pp. 18-23.
43. Shulga O. S., Petrusha O. A. The influence of gelatin on the properties of edible films and coatings from potato starch [*Vliianie zhelatina na svoistva s''edobnykh plenok i pokrytii iz kartofel'nogo krakhmala*]. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2017, vol. 3, No 3, pp. 64-70.
44. Ukhartseva I., Goldade V., Tsvetkova E. Food packaging : trends and prospects [*Upakovka produktov pitaniia : tendentsii i perspektivy*]. Germany, 2019, 251 p.
45. Biodegradable edible food films and coatings [*Biodegradiruemye s''edobnye pishchevyye plenki i pokrytiia*]. *Export.by*, 2000-2021 [Electronic resource].
46. Abdul Khalil H. P. S. [et al.]. Biodegradable Films for Fruits and Vegetables Packaging Application : Preparation and Properties. *Food Engineering Reviews*. 2018, vol. 10, issue 3, pp. 139-153.