

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ УПАКОВКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ. ЧАСТЬ 2: УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ УТИЛИЗАЦИИ

И.Ю. Потороко¹, А.В. Малинин¹, А.В. Цатуров¹, А.М. Каду¹, Удей Багале^{1,2}

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Национальный технологический институт, Варангал, шт. Телангана, Индия

Утилизация полимерных материалов – процесс весьма трудоемкий и длительный во времени, причем в условиях смешанного сбора отходов возникает сложная ситуация, влекущая накопление веществ, опасных для окружающей среды. Существующий в мире опыт утилизации полимерных отходов недостаточный и не позволяет полностью снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Для утилизации полимерных отходов в зависимости от состава поступающего сырья и необходимых характеристик для вторичных изделий применяются методы переработки и утилизации (захоронение, механическое дробление, термическое воздействие, химические и т. д.). Для увеличения доли твердых бытовых отходов для захоронения с сокращением срока утилизации возникает необходимость в биоразлагаемых материалах из растительных биополимеров взамен пластика. На сегодняшний день по всему миру активно ведутся разработки технологий получения биоразлагаемых материалов, подвергающихся утилизации и рециклингу для разных сфер применения. Целью данного исследования стало изучение процессов (паропроницаемости, водопоглощения и вымывания наполнителя), протекающих в биоразлагаемых полимерах при различном соотношении основных сырьевых компонентов (крахмала кукурузного (КК) и целлюлозы (Ц)). Для проведения исследования были приготовлены 4 образца биоразлагаемого материала с оптимальным заданным компонентным составом. В процессе исследования нами было установлено, что наилучшими барьерными свойствами обладает образец 2 (КК:Ц в соотношении 1.5:0.5). Наименьшее вымывание наполнителя наблюдается у образца 3 (КК:Ц в соотношении 2.0:0.3). Результаты исследования показали, что при изменении соотношения основных компонентов в матрице биополимерного материала можно регулировать барьерные свойства материала. Полученные биоразлагаемые материалы могут быть использованы в качестве упаковочных материалов.

Ключевые слова: биоразлагаемая пленка, кукурузный крахмал, целлюлоза, водопоглощение, вымывание, экология.

Введение

В последние пять лет наблюдается устойчивая положительная динамика прироста объемов твердых коммунальных отходов (ТКО) за счет увеличения количества используемых упаковочных материалов в коммунальном секторе [2]. Согласно данным Росприроднадзора, из 5 млрд 441 млн тонн промышленных и бытовых отходов только 3,226 млрд тонн были использованы повторно и 2,621 млрд тонн было отправлено на хранение или захоронение. По оценке информационно-аналитического центра Рурес, объем утилизируемых полимерных отходов потребления в РФ находился на уровне 350 тыс. тонн, а основные источники – торговые и производственные компании, население (раздельный сбор), полигоны. К примеру, в Германии 15 % ТКО отправляется на захоронение, сжигают (61 завод) 25 % ТКО, а также 60 % ТКО выделя-

ют в качестве вторсырья за счет селективного сбора. С целью увеличения доли ТКО для захоронения с сокращением срока утилизации необходимо производство биоразлагаемых материалов взамен пластиков. На сегодняшний день основными предпосылками формирования рынка биоразлагаемых материалов являются:

- общемировые тенденции введения ограничений, связанных с накоплением и утилизацией отходов полимеров из нефтепродуктов;
- низкие показатели вторичного полимерного сырья в сырьевом балансе РФ (менее 3 %);
- планируемое введение запрета на использование одноразовой посуды из нефтепродуктов в России по прогнозам в течение 5...10 лет [1, 4, 12].

Более 30 лет ученые пытаются реализовать идею создания биоразлагаемых материа-

лов, около 70 предприятий в мире производят биоразлагаемые пластики, но в основном для мешков под органические отходы, одноразовую посуду, подгузники. Следует понимать, что биоразлагаемыми называют материалы, способные разрушаться на составные части в стандартных, естественных условиях под воздействием микроорганизмов, либо ультрафиолета, света, тепла, радиации. Безусловно, продукты биоразложения не должны проявлять токсичного действия на окружающую среду, с учетом указанных критериев только четвертая часть производимых под знаком «биоразлагаемые» материалов являются таковыми.

На потребительском рынке РФ представлена продукция, произведенная из биоразлагаемых материалов преимущественно на основе крахмала кукурузного, сахарного тростника, либо традиционных полимеров, с добавками, ускоряющими процесс деградации при заданных условиях [6].

Основными факторами, тормозящими развитие рынка биоразлагаемых материалов, стали высокая цена и неполная разлагаемость, а также возможность негативного влияния на объект упаковки за счет преждевременного разложения в процессе использования. На этапе сертификации (в системе DIN и CEN) созданный материал должен пройти тестирование его влияния на окружающую среду, длительности разложения. Вместе с тем достоверные критерии оценки биоразлагаемости и компостируемости пока еще не определены.

Следовательно, при разработке новых биоразлагаемых материалов необходимо, прежде всего, учитывать их способность к компостируемости, прежде всего на основе исследования таких показателей, как паропроницаемость, водопоглощение и вымывание наполнителя из системы материала [8, 18]. С помощью полученных данных возможно будет спрогнозировать процессы, проходящие при компостировании, и установить механизмы управления процессом биodeградации материалов.

Целью данного исследования является изучение процессов, протекающих в биоразлагаемых полимерах при различном соотношении основных сырьевых компонентов (крахмала кукурузного и целлюлозы).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись биополимерные пленки, полученные при различ-

ном соотношении растительных компонентов. В качестве основного сырья были использованы кукурузный крахмал (ГОСТ 32159-2013) и целлюлоза (ГОСТ 28172-89).

Образцы были получены в условиях лаборатории «Синтез и анализ пищевых ингредиентов» кафедры «Пищевые и биотехнологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)». Соотношение основных компонентов крахмала кукурузного (далее КК) и целлюлозы (далее Ц) было описано ранее, в первой части статьи [10].

Исследования способности пленочных материалов к биodeградации проводились на следующих образцах:

образец 1 – на основе компонентов КК:Ц в соотношении 1.5 : 0.3;

образец 2 – на основе компонентов КК:Ц в соотношении 1.5 : 0.5;

образец 3 – на основе компонентов КК:Ц в соотношении 2.0 : 0.3;

образец 4 – на основе компонентов КК:Ц в соотношении 2.0 : 0.5.

Для оценки биоразлагаемости полученных пленочных материалов, в качестве критериев были определены следующие показатели:

- водопоглощение;
- паропроницаемость;
- степень вымывания компонентов.

Определение паропроницаемости пленок осуществляли по модифицированной методике ASTM (Стандартные методы испытаний материала на пропускание водяного пара, E96-95. В ежегодной книге ASTM; Американское общество испытаний и материалов, Филадельфия, Пенсильвания).

Скорость передачи водяного пара (WVP) ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) рассчитывается по формуле

$$\text{WVP} = \frac{\text{WVTR}}{P(R_1 - R_2)} X,$$

где WVTR – разность между массой флакона с образцом (до погружения и после изъятия); X – толщина исследуемого образца пленки; $P(R_1 - R_2)$ – 3073,93 Pa (относительная влажность в эксикаторе) [14].

Определение водопоглощения пленок. Данный показатель является косвенной характеристикой биоразлагаемости пленки, поскольку наличие влаги необходимо для развития микроорганизмов. За основу методики по водопоглощению принимался ГОСТ 4650-80 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения». Исследование проводили в тече-

ние 8 суток. Массу воды, поглощенную образцами, определяли как отношение массы пленки после изъятия из воды к массе пленки до извлечения из воды, выражаемое в процентах [16, 17].

Определение вымывания наполнителя из пленок. Для определения вымывания наполнителя исследуемые образцы пленок выдерживались в дистиллированной воде в течение 8 суток в термостате с установленной в нем температурой 30 °С. После изъятия образцов из водной среды, образцы были доведены до постоянной массы в сушильном шкафу при 100 °С. Эффект вымывания определяется как разница массы исходного образца к массе высушенного образца, выражаемая в процентах [17].

Результаты и их обсуждение

Способность пленочных материалов задерживать или пропускать водяные пары во многом определяет характер течения процессов при хранении упакованного продукта, а чем ниже проникающая способность влаги, тем выше барьерные свойства пленочных материалов. Результаты исследования паропроницаемой способности исследуемых образцов пленок представлены в табл. 1. Пленки, проанализированные в начальный момент времени имели значение показателя от $2,93 \pm 0,07$ до $4,91 \pm 0,07 \times 10^{-10} \text{ г/м}^{-1} \text{ с}^{-1} \text{ Па}^{-1}$, что связано с изменением количества сырьевых компонентов и со структурными модификациями крахмальной сеток. Самое высокое значение показателя установлено для образца с соотношением компонентов КК:Ц/ 2.0: 0.5 (образец 4) за счет образования пленки с порами или трещинами, что способствует проникновению водяного пара. Данный образец обладает самыми низкими барьерными характеристиками.

По мере длительности эксперимента видно, что показатель изменялся для всех образ-

цов, но с различной динамикой. Самые высокие барьерные характеристики проявил образец 2, полученный на основе сырьевых компонентов КК:Ц в соотношении 1.5:0.5. В эксперименте значение показателя для пленок образца 2 имели тенденцию оставаться достаточно постоянными, что связано со стабильностью крахмальных пленок и согласуется с исследованиями их микроструктурных свойств. Доказано, что проницаемость для водяного пара уменьшается с увеличением кристаллических зон, поскольку в большей части происходит через аморфные зоны пленки [5].

Высокое водопоглощение некоторых биоразлагаемых материалов из растительных полисахаридов связано с их пористой структурой, а также поглощением гидрофильного наполнителя. Однако материалы биоразлагаемые на основе растительного сырья впитывают влаги гораздо больше [7]. По сути, данный показатель является косвенной характеристикой способности биополимера к деградации, поскольку присутствие влаги необходимо для развития микроорганизмов. Эксперимент проводился в течение 8 суток, полученные в ходе исследования результаты представлены в табл. 2.

Анализ представленных данных показал, что самое высокое водопоглощение наблюдается у образца 3 (образец на основе компонентов КК:Ц в соотношении 2.0: 0.3). Наименьшее водопоглощение наблюдается у образца 2 (образец на основе компонентов КК:Ц в соотношении 1.5: 0.5). При увеличении концентрации крахмала в составе композиционного раствора повышается водопоглощение, так как крахмал является гидрофильным материалом, содержащим ангидрогликозные элементы, связанные α -D-1,4-гликозидными связями. Чтобы снизить гидрофильность крахмала, проводили смешивание с целлю-

Таблица 1

Паропроницаемая способность образцов пленок, $\text{г/м}^{-1} \text{ с}^{-1} \text{ Па}^{-1}$

Объект исследования	Соотношение рецептурных биокомпонентов	Паропроницаемость, ($\times 10^{-7} \text{ г/м}^{-1} \text{ с}^{-1} \text{ Па}^{-1}$)		
		24 часа	48 часов	72 часа
Образец 1	КК:Ц / 1.5: 0.3	$4,60 \pm 0,07$	$5,61 \pm 0,01$	$4,40 \pm 0,08$
Образец 2	КК:Ц / 1.5: 0.5	$2,93 \pm 0,07$	$3,20 \pm 0,03$	$2,81 \pm 0,02$
Образец 3	КК:Ц / 2.0: 0.3	$3,58 \pm 0,09$	$4,53 \pm 0,02$	$4,47 \pm 0,06$
Образец 4	КК:Ц / 2.0: 0.5	$4,91 \pm 0,07$	$6,20 \pm 0,07$	$5,99 \pm 0,08$

лозным волокном и поливиниловым спиртом в присутствии сопутствующих компонентов в растворе [3, 11, 13].

В процессе водопоглощения материалом параллельно происходит вымывание наполнителя в водную среду, что сопровождается изменением массы пленок и, как следствие, структуры материала [17]. В период эксперимента наблюдали, что в течение 1...3 суток пленка интенсивно впитывает воду, а затем при дальнейшем хранении (6...8 день хранения) наблюдаются снижение массы, что обусловлено процессом вымывания наполнителей из образцов (табл. 3).

Результаты эксперимента свидетельствуют, что наиболее активно вымывание компонентов происходит в биопленках образца 2 (потери массы составили $-63,1 \pm 0,3\%$) и меньше всего в биопленках образца 3 (потери массы составил $52,8 \pm 0,3\%$). Основными сырьевыми компонентами, склонными к миграции в растворы, являются крахмалы (в нашем эксперименте кукурузный крахмал), на рисунке представлены растворы крахмальной воды по истечении 8 суток выдержки образцов пленок.

Идентификация наличия крахмала и его концентрация (количество мигрированного крахмала в воду) в анализируемых пробах оценивалась по йодной пробе путем внесения в крахмальную воду 0, 5 мл (использовался 5 %-ный раствор йода). Исследования показали присутствие крахмала во всех вытяжках,

но разной концентрации, что требует дополнительного исследования. Весьма объективными могут стать экспериментальные данные количества крахмала и наблюдения за структурными изменениями в пленочной матрице. Для раскрытия механизмов влияния основных и дополнительных ингредиентов, необходимых для формирования пленочного каркаса, на процессы биodeградации следует продолжить исследования опытных образцов по расширенной номенклатуре показателей. Также осуществить моделирование матрицы за счет использования разных видов крахмалов [9, 15, 19].

Выводы по результатам работы

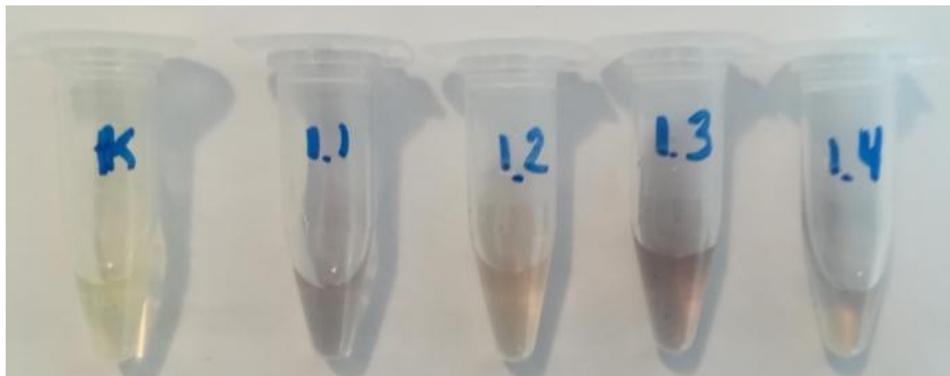
Таким образом, результаты исследования показали, что при изменении соотношения основных компонентов в матрице биополимерного материала можно регулировать показатели паропроницаемости, водопоглощения и вымывания наполнителей из материала. Высокая паропроницаемость и водопоглощение пленочного материала приводит к снижению эксплуатационных свойств, можно раскрыть процессы, проходящие при компостировании и окислении. Показатели, определяемые в данной части работы, являются косвенной характеристикой биоразлагаемости исследуемых материала. Для управления процесса биodeградации необходимо получить дополнительные сведения с целью обеспечения стабильности барьерных свойств.

Таблица 2
Результаты изменения показателя водопоглощения для образцов пленок при хранении

Объект исследования	Соотношение рецептурных биокомпонентов	Водопоглощение, масс. % $\pm 0,5$ при хранении, сут.			
		1 сутки	3 суток	6 суток	8 суток
Образец 1	КК:Ц / 1.5: 0.3	$88,1 \pm 0,3$	$85,2 \pm 0,4$	$78,1 \pm 0,5$	$75,2 \pm 0,3$
Образец 2	КК:Ц / 1.5: 0.5	$63,4 \pm 0,5$	$53,1 \pm 0,3$	$50,8 \pm 0,4$	$35,5 \pm 0,4$
Образец 3	КК:Ц / 2.0: 0.3	$116,1 \pm 0,6$	$113,9 \pm 0,5$	$104,4 \pm 0,5$	$97,3 \pm 0,4$
Образец 4	КК:Ц / 2.0: 0.5	$95,8 \pm 0,3$	$99,2 \pm 0,5$	$93,1 \pm 0,3$	$81,8 \pm 0,5$

Таблица 3
Результаты исследования процесса вымывания наполнителей

Объект исследования	Соотношение биокомпонентов	Потери массы, %
Образец 1	КК:Ц / 1.5: 0.3	$60,6 \pm 0,3$
Образец 2	КК:Ц / 1.5: 0.5	$63,1 \pm 0,3$
Образец 3	КК:Ц / 2.0: 0.3	$52,8 \pm 0,3$
Образец 4	КК:Ц / 2.0: 0.5	$55,1 \pm 0,3$



Результаты определения наличия крахмала по йодной пробе в вводной вытяжке после 8 суток выдержки пленок, где: образец К – контроль; образец 1.1 – образец КК:Ц / 1.5:0.3; образец 1.2. – КК:Ц/ 1.5:0.5; образец 1.3. – КК:Ц/ 2.0:0.3; образец 1.4.– КК:Ц/ 2.0:0.5

Литература

1. Власов С.В., Ольхов А.А. Биоразлагаемые полимерные материалы // *Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии*. – 2006. – № 7. – С. 23–26.
2. Волкова А.В. Рынок утилизации отходов // *Рециклинг полимеров в России: настоящее и будущее*. – ИАЦ RUPEC, 2017.
3. Гулюк Н.Г. Крахмал и крахмалопродукты / Н.Г. Гулюк. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.
4. Дятлов Д.С., Гулемова Л.Р. Биопластики как замена стандартных полимерных материалов // *Материалы и методы инновационных научно-практических исследований и разработок Калуга, 28 октября 2019 г.* – Калуга, 2019. – С. 57–59.
5. Захаров, И.В., Сидоров, Ю.Д., Поливанов, М.А., Василенко, С.В. Влияние поливинилацетата на паропроницаемость биоразлагаемых пленочных материалов // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т. 18, № 21. – С. 77–79.
6. Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р., Глоба А.И. *Технология биоразлагаемых полимерных материалов*. – Минск: Изд-во БГТУ, 2014. – 105 с.
7. Луканина Ю.К., Колесникова Н.Н., Лихачев А.Н., Хватов А.В., Попов А.А. Влияние структуры полимерной матрицы на развитие микромицетов на смешанных композициях полиолефинов с целлюлозой // *Пластические массы*. – 2010. – № 11. – С. 56–59.
8. Легонькова О.А. Биоразлагаемые материалы в технологии упаковки // *Тара и упаковка*. – 2003. – № 6. – С. 56–60.
9. Лонг Ю. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников. – СПб.: *Научные основы и технологии*, 2013. – 464 с.
10. Потороко, И.Ю., Малинин, А.В., Цатуров, А.В., Удей Багале. Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 1 // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 21–28. DOI: 10.14529/food200203
11. Рыбкина С.П., Пахаренко В.В., Булах В.Ю. Биоразлагаемые упаковочные материалы на основе полисахаридов (крахмала) // *Пластические массы*. – 2012. – № 2. – С. 61–64.
12. Сивкова Г.А., Хусаинова А.А. Получение биоразлагаемого пластика из возобновляемого сырья // *Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы*, Саратов, 10 января 2020 г. – Саратов, 2020. – С. 25–30.
13. Терентьева Э.П. и др. *Основы химии целлюлозы и древесины: учебно-методическое пособие* / Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко, Е.А. Павлова, Р.Г. Алиев. – СПб.: ГОУ ВПО СПбГТУ РП, 2010. – 23 с.
14. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium ptrocarpum* Bioss. essential oil // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2018. – V. 16. – P. 31–40.
15. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review // *Food and Bioprocess Technology*. – 2012. – V. 5. – P. 2058–2076.
16. Curvelo A.A.S., de Carvalho A.J.F., Agnelli J.A.M. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results // *Carbohydrate Polymers*. – 2001. – V. 45. – P. 183–188.

17. Dong Y., Abdullah Z. *Biodegradable and Water Resistant Poly(vinyl) Alcohol (PVA)/Starch (ST)/Glycerol (GL)/Halloysite Nanotube (HNT) Nanocomposite Films for Sustainable Food Packaging // Frontiers in materials.* – 2019. – V. 6. – P. 1–17.

18. Pareta R. *A novel method for the prepara-*

tion of starch films and coatings / R. Pareta, M.J. Edirisinghe // Carbohydrate Polymers. – 2006. – V. 63, № 3. – P. 425–431.

19. Yu L., Petinakis S., Dean K., Bilyk A., Wu D. *Green polymeric blends and composites from renewable resources // Macromol. Symp.* – 2007. – P. 535–539.

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Малинин Артем Владимирович, старший лаборант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), aram-chel@mail.ru

Кади Аммар Мохаммад Яхья, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), ammarka89@gmail.com

Удей Багале, Ph.D, кафедра химической инженерии, Национальный технологический институт (Варангал, шт. Телангана, Индия); Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), uday_bagale@yahoo.co.in

Поступила в редакцию 12 июня 2020 г.

DOI: 10.14529/food200404

BIODEGRADABLE MATERIALS BASED ON PLANT POLYSACCHARIDES FOR FOOD PACKAGING. PART 2: MANAGING RECYCLING PROCESSES

I. Yu. Potoroko¹, A. V. Malinin¹, A. V. Tsaturov¹, A. M. Kadi¹, Uday Bagale^{1,2}

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² National Institute of Technology, Warangal, Telangana State, India

Recycling of polymer materials is a very time-consuming and time-consuming process, and in the conditions of mixed waste collection, a complex situation arises that leads to the accumulation of substances that are dangerous to the environment. The world's experience in recycling polymer waste is not sufficient and does not allow to completely reduce the environmental burden on the environment. For the disposal of polymer waste, depending on the composition of incoming raw materials and the necessary characteristics for secondary products, processing and disposal methods are used (burial, mechanical crushing, thermal impact, chemical, etc.). to increase the share of solid household waste (SHW) for disposal with a shorter disposal period, there is a need for biodegradable materials from plant biopolymers instead of plastic. Today, technologies for obtaining biodegradable materials that are subject to recycling and recycling for various applications are being actively developed around the world. The purpose of this study was to study the processes (vapor permeability, water absorption and leaching of the filler) that occur in biodegradable polymers with different ratios of the main raw materials (corn starch (CS) and cellulose (C)). For the study, 4 samples of biodegradable material with the optimal specified component composition were prepared. In the course of our research, we found that sample 2 has the best barrier properties (CS:C in the ratio 1.5:0.5). The smallest leaching of the filler is observed in sample 3 (CS:C in the ratio 2.0:0.3). The results of the study showed that when changing the ratio of the main components in the matrix of a biopolymer material, the barrier properties of the material can be adjusted. The resulting biodegradable materials can be used as packaging materials.

Keywords: biodegradable film, corn starch, cellulose, water absorption, washout, ecology.

References

1. Vlasov S.V., Olkhov A.A. [Biodegradable polymer materials]. *Polimernye materialy: izdeliya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymer materials: products, equipment, technologies], 2006, no. 7, pp. 23–26. (in Russ.)
2. Volkova A.V. [Waste disposal Market]. *Polymer recycling in Russia: present and future*. [IAC RUPEC], 2017.
3. Gulyuk N.G. *Krakhmal i krakhamaloprodukty* [Starch and starch products]. Moscow, 1985. 240 p.
4. Dyatlov D.S., Galimova L.R. [Bioplastic as a replacement for the standard polymer materials]. *Materialy i metody innovatsionnykh nauchno-prakticheskikh issledovaniy i razrabotok* [Materials and methods of innovative scientific and practical research and development]. Kaluga, October 28, 2019, pp. 57–59. (in Russ.)
5. Zakharov I.V., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A., Vasilenko S.V. Effect of polyvinyl acetate on the vapor permeability of biodegradable film materials. *Bulletin of the technological University*, 2015, Vol. 18, no. 21, pp. 77–79. (in Russ.)
6. Krutko E.T., Prokopchuk N.R., Globa A.I. *Tekhnologiya biorazlagaemykh polimernykh materialov* [Technology of biodegradable polymer materials]. Minsk, 2014, 105 p.
7. Lukanina Yu.K., Kolesnikova N.N., Likhachev A.N., Khvatov A.V., Popov A.A. Influence of the polymer matrix structure on the development of micromycetes on mixed compositions of polyolefins with cellulose. *Plastic masses*, 2010, no. 11, pp. 56–59. (in Russ.)
8. Legonkova O.A. [Biodegradable materials in packaging technology]. *Tara i upakovka* [Tare and packaging], 2003, no. 6, pp. 56–60. (in Russ.)
9. Long Yu. *Biorazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnovlyaemykh iistochnikov* [Biodegradable polymer mixtures and composites from renewable sources]. St. Petersburg, 2013. 464 p.
10. Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Uday Bagale Biodegradable Materials Based on Plant Polysaccharides for Food Packaging. Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 21–28. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200203
11. Rybkina S.P., Pakhareno V.V., Bulakh V.Yu. [Biodegradable packaging materials based on polysaccharides (starch)]. *Plasticheskie massy* [Plastic masses], 2012, no. 2, pp. 61–64. (in Russ.)
12. Sivkova G.A., Khusainova A.A. [Getting biodegradable plastic from renewable raw materials]. *Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka: istoriya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy* [Traditional and innovative science: history, current state, prospects], Saratov, January 10, 2020, pp. 25–30.
13. Terenteva E.P., Udovenko N.K., Pavlova E.A., Aliyev R.G. *Osnovy khimii tsellyulozy i drevesiny* [Fundamentals of pulp and wood chemistry]. St. Petersburg, 2010. 23 p.
14. Ali Ghadetaj, Hadi Almasi, Laleh Mehryar. Development and characterization of whey protein isolate active films containing nanoemulsions of *Grammosciadium procarpum* Bioss. essential oil. *Food Packaging and Shelf Life* 16, (2018), pp. 31–40. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.01.012
15. Alberto Jimenez, María Jose Fabra, Pau Talens Amparo Chiralt. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, vol. 5, pp. 2058–2076. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4
16. Curvelo A.A.S., de Carvalho A.J.F., Agnelli J.A.M. Thermoplastic starch–cellulosic fibers composites: preliminary results. *Carbohydrate Polymers*, 2001, vol. 45, pp. 183–188. DOI: 10.1016/S0144-8617(00)00314-3
17. Dong Y., Abdullah Z. Biodegradable and Water Resistant Poly(vinyl) Alcohol (PVA)/Starch (ST)/Glycerol (GL)/Halloysite Nanotube (HNT) Nanocomposite Films for Sustainable Food Packaging. *Frontiers in materials*, 2019, vol. 6, pp. 1–17. DOI: 10.3389/fmats.2019.00058
18. Pareta R., Edirisinghe M.J. A novel method for the preparation of starch films and coatings. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 63, no. 3, pp. 425–431. DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.09.018
19. Yu L., Petinakis S., Dean K., Bilyk A., Wu D. Green polymeric blends and composites from renewable resources. *Macromol. Symp*, 2007, pp. 535–539. DOI: 10.1002/masy.200750432

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

Artem V. Malinin, Senior laboratory assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

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

Ammar M.Y. Kadi, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, ammarka89@gmail.com

Uday Bagale, Doctor of Philosophy, Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology (Warangal, Telangana State, India); South Ural State University, Chelyabinsk, uday_bagale@yahoo.co.in

Received June 12, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Биоразлагаемые материалы на основе растительных полисахаридов для упаковки пищевых продуктов. Часть 2: Управление процессами утилизации / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 30–37. DOI: 10.14529/food200404

FOR CITATION

Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Kadi A.M., Uday Bagale. Biodegradable Materials Based on Plant Polysaccharides for Food Packaging. Part 2: Managing Recycling Processes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 30–37. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200404
