

## ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ УЛЬТРАЗВУКА НА СВОЙСТВА БИОДЕГРАДИРУЕМОГО ПОЛИМЕРА, НА ОСНОВЕ КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

*И.Ю. Потороко<sup>1</sup>, А.В. Цатуров<sup>1</sup>, А.В. Малинин<sup>1</sup>, А.А. Руськина<sup>1</sup>,  
Удей Багале<sup>1,2</sup>, М.Т. Велямов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Национальный технологический институт Варангала, Варангал, шт. Телангана, Индия

<sup>3</sup> ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности», г. Алматы, Казахстан

Целью настоящего исследования стало изучение свойств композиционных биополимеров, полученных на основе крахмала картофельного. Исследования в данном направлении в настоящее время проводят ученые во всем мире, это связано с проблемой утилизации традиционных пластиков и их вредного воздействия на окружающую среду, объемы которых увеличиваются с каждым годом. Применение биополимеров из различных видов крахмалов, в том числе из картофельного, интересно тем, что исходное сырье практически не ограничено и постоянно возобновляется. Однако применение биополимеров из крахмала для производства одноразовой посуды или упаковки ограничивается некоторыми трудностями при их дальнейшей эксплуатации. Основным недостатком является повышенная способность к впитыванию влаги, при этом отмечается, что с увеличением содержания крахмала хрупкость биополимерной пленки увеличивается. Поэтому для решения этих проблем применялось изменение соотношения компонентов биополимеров, которые подвергались ультразвуковому воздействию в охлаждающей системе для получения биоразлагаемых пленок с улучшенными деформационно-механическими характеристиками. Для получения разрушаемой бактериями водорастворимой пленки из смеси крахмала и дополнительного пленкообразующего вещества альгината натрия в состав композиции вводили пластификатор – глицерин. Опытные растворы композиционных полимеров обрабатывались ультразвуком на акустическом источнике упругих колебаний ультразвуковом приборе «Волна» модель УЗГА-0,4/22-ОМ, работающем на частоте  $(22 \pm 1,65)$  кГц и выходной мощности 400 Вт. Опытным путем было установлено, что пленка, полученная из смеси крахмала и альгината натрия, обработанная ультразвуком в оптимальном режиме, имеет наименьшую устойчивость к воздействию культур плесневых грибов, а значит обладает биоразлагаемой способностью.

**Ключевые слова:** биodeградируемая пленка, картофельный крахмал, биоразлагаемый полимер, ультразвуковое воздействие, охлаждающая система, упаковка.

### Введение

Композиционные полимеры, обладающие биоразлагаемой способностью, производимые из биологического сырья, составляют небольшую долю мирового рынка полимеров. В настоящее время разработка и создание композиционных материалов из полисахаридов на основе крахмалов является одним из наиболее перспективных и эффективных способов снижения полимерных отходов. Повышение объема производства пластмасс привело к образованию большого количества отходов этих полимеров, которые требуют дорогостоящих технологий для их утилизации. В области утилизации полимерных материалов одним из актуальных направлений является разработка композиционного материала, обладающего биоразлагаемой способностью,

содержащая в своем составе систематическую матрицу из природных наполнителей и пластификаторов [9].

Биodeградируемые полимеры, находясь в окружающей среде, подвергаются воздействию на них разных физических факторов, а также микроорганизмов, при этом материал деструктурирует, наполнитель полностью ассимилируется, что приводит к уменьшению количества отходов за счет уменьшения продолжительности разложения композиционного материала.

Разработка, получение и применение биodeградируемого полимера преследует своей целью экологические и экономические преимущества: снижение потребности в пластмассах, ухудшающие экологическую обстановку; переработка и утилизация полимерных

отходов; низкая стоимость полимеров из возобновляемого сырья.

Полимер считается биodeградируемым (биоразлагаемым), т. е. подвергающийся деструкции, если его биологическая система сама по себе снижает его начальные качества. Деструкция в целом содержит первичные процессы поглощения света и тепла, в материале среды компонентов, что приводит его к обрастанию бактериями либо грибами. Их микронные ферменты вызывают начало действия реакции разрыва химических связей в макромолекуле, что приводит к ее разложению. Склонность материалов к деструкции определяется не только наличием разветвлений, химическим старением, размером макроцепи, но и их надмолекулярной макро- и микроструктурой [3].

В настоящее время вырос интерес к созданию биodeградируемого полимера для производства одноразовой посуды, упаковок, пакетов, для других нужд, которая бы сохраняла пластичность в течение периода изготовления изделия из него, и выполняла функциональное назначение изделия в определенный период времени [6].

Основными полимерами для получения биodeградируемого полимера являются полисахариды, среди которых лидирующее место по невысокой цене и доступности занимает крахмал [8].

Создание полимера, обладающего биоразлагаемой способностью на основе крахмала, основано на нескольких принципах:

– получение смесей крахмала с природными полимерами;

– получение смесей крахмала с синтетическими полимерами;

– получение термопластичного крахмала и изделий на его основе экструзионным методом.

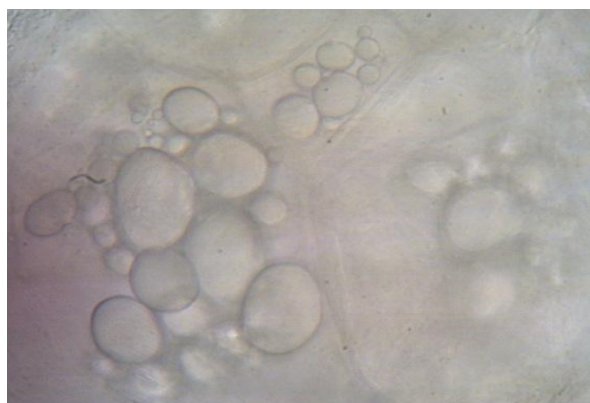
Известно, что крахмал – это смесь полисахаридов (амилозы и амилопектина), мономером которого является альфа-глюкоза. Крахмал синтезируется разными частями растений в хлоропластах и колеблется в разном соотношении. К источникам крахмала относятся картофель – 24 %, рис – 75 %, кукуруза – 70 %, пшеница – 64 % крахмала.

Картофельный крахмал является одним из самых распространенных полисахаридов, применяемым в качестве стабилизатора и загустителя в пищевом производстве. Картофельный крахмал имеет высокую степень набухания и низкую температуру желатинизации [10].

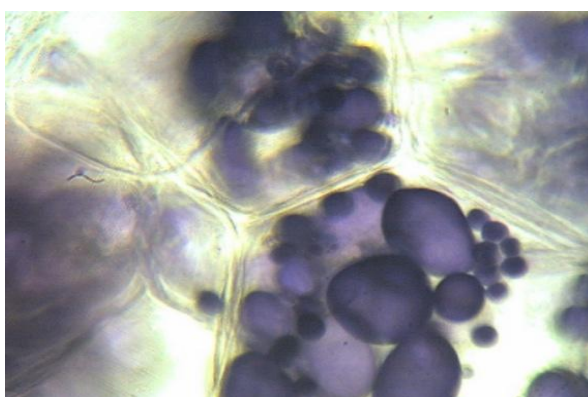
Зерна картофельного крахмала синтезируются и содержатся в лейкопластах, которые запасают питательные вещества (рис. 1). Лейкопласты бесцветны, но на свету они могут превращаться в хлоропласты и становиться зелеными, что и происходит при позеленении клубня картофеля.

Физико-механические свойства пленок на основе картофельного крахмала зависят от соотношения кристаллической и аморфной областей.

Стоит отметить то, что биodeградируемые полимеры, содержащие в своем составе крахмал и глицерин, могут образовывать различные морфологические структуры и проявлять свойства, зависящие от условий и спосо-



а)



б)

Рис. 1. Микроскопия тонкого среза клубня картофеля. Общее увеличение составляет  $\times 400$ : а) препарат без окрашивания; б) препарат, окрашенный йодом. В лейкопластах содержатся крахмальные зерна разных размеров и форм

бов производства (литьевым, раздувным оборудованием, экструзионным), вида крахмала и состава сополимера.

Однако стоит отметить, что получаемые пленки обладают невысокой прочностью (хрупкостью) и способностью крахмала к старению (ретроградации), т. е. изменению механических и структурных характеристик с течением времени, что ограничивает его использование для производства упаковочных материалов, одноразовой посуды.

Одним из методов улучшения деформационно-механических характеристик крахмалов, в частности картофельного, является модификация ультразвуком в охлаждающей системе его смесей с последующей тепловой обработкой для получения биodeградируемого полимера (биоразлагаемого) в составе с другими пищевыми пленкообразующими веществами и полисахаридами.

К сополимерам для повышения качества пленок на основе картофельного крахмала относятся дополнительные пленкообразующие вещества, такие, как альгинат натрия.

Альгинат натрия обладает повышенными пленкообразующими свойствами из-за его уникальных коллоидных свойств, которые включают стабилизацию эмульсий, образование суспензий и гелеобразования, тем самым находит широкое применение в пищевой промышленности. Альгинат натрия представляет собой водорастворимую соль альгиновой кислоты, содержащейся во всех видах бурых водорослей.

Целью данного исследования является изучение свойств биodeградируемого полимера путем изменения соотношения его компонентов, подвергнутому ультразвуковому

воздействию в охлаждающей системе для получения биоразлагаемых пленок с улучшенными деформационно-механическими характеристиками.

### Объекты и методы исследования

В качестве исходного сырья для выделения крахмала был использован картофель сорта «Лорх», выращенный на территории Челябинской области.

Способ получения сухого картофельного крахмала (нативного) из картофеля в лабораторных условиях состоит из нескольких этапов: подготовка к переработке, измельчение, выделение сока и мезги (крахмальные зёрна высвобождаются из разрушенных клеток), очистка водой, высушивание при комнатной температуре в течение 72 ч.

В качестве компонентов для получения 5 %-ной водной суспензии композиционного материала использовали:

– полимеры (пленкообразующие вещества): сухой картофельный крахмал (нативный), альгинат натрия.

– пластификатор: глицерин.

– растворители: вода дистиллированная.

Соотношение компонентов, внесенных в состав смеси при длительности УЗВ 5 мин при 100 % мощности от паспортного значения для получения биodeградируемого полимера, представлено в табл. 1.

Для проведения исследования были приготовлены 5 %-ные растворы: крахмала; крахмала и глицерина; крахмала, альгината натрия и глицерина.

Опытные растворы композиционных полимеров обрабатывались ультразвуком на акустическом источнике упругих колебаний ультразвуковом приборе «Волна» модель

Таблица 1  
Соотношение компонентов для получения биodeградируемого полимера (пленок), %

Объект исследования	Содержание компонентов, %			
	Картофельный крахмал	Альгинат натрия	Глицерин	Вода дистиллированная
Контроль	5,0	–	–	95,0
Образец 1	5,0	–	5,0	90,0
Образец 2	5,0	–	10,0	85,0
Образец 3	5,0	–	15,0	80,0
Образец 4	5,0	–	20,0	75,0
Образец 5	4,2	0,8	5,0	90,0

УЗТА-0,4/22-ОМ, работающем на частоте  $(22 \pm 1,65)$  кГц и выходной мощности 400 Вт. Полученные растворы перемешивались в течение 5 мин с помощью механической мешалки при скорости 120 об/мин. Затем, не прекращая перемешивания, к полученному раствору добавляли от 5 до 20 см<sup>3</sup> глицерина, перемешивали в течение 5 мин до равномерного распределения компонентов.

Растворы композиционных полимеров на основе картофельного крахмала подвергали УЗВ 100% мощности от паспортного значения и продолжительности обработки в течение 5 мин. Для изучения влияния УЗВ на структуру крахмальных зерен обработку проводили в охлаждающей системе  $(28 \pm 4^\circ\text{C})$ .

Полученные образцы УЗВ композиционных полимеров подвергали тепловой обработке на водяной бане при температуре 80 °С в течение 5 мин для получения вязкой массы. Запаривали исследуемые образцы при постоянном перемешивании. Температуру образующегося раствора поддерживали постоянной при помощи термометра, обеспечивающего стабильность температуры  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ .

Для формования пленок полученные растворы распределяли в стеклянные чашки Пет-

ри в виде тонкого слоя. Образцы оставляли сушиться при комнатной температуре в течение нескольких дней до полного высыхания. На рис. 2 представлены отформованные образцы полимеров (пленок).

Образцы водной суспензии крахмалов с определенным количеством наполнителя оценивались визуально и микроскопически (общее увеличение составляет  $\times 400$ ) для этих целей готовились препараты типа «раздавленной капли». Измерение вязкости растворов проводились с использованием вибровискозиметра, модель SV 10.

Бактериальная деградация композиционных материалов определяется по ГОСТ 9.049-91 «Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» [5].

Одним из наиболее распространенных микроорганизмов, содержащихся во всех типах почв, является гриб рода *Aspergillus*. Он участвует в процессах разложения органических веществ в почве за счет выделения ферментов [4]. Описание метода представлена в табл. 2. Грибостойкость материала по степени развития плесневых грибов оценивается по ГОСТ 9.049-91.

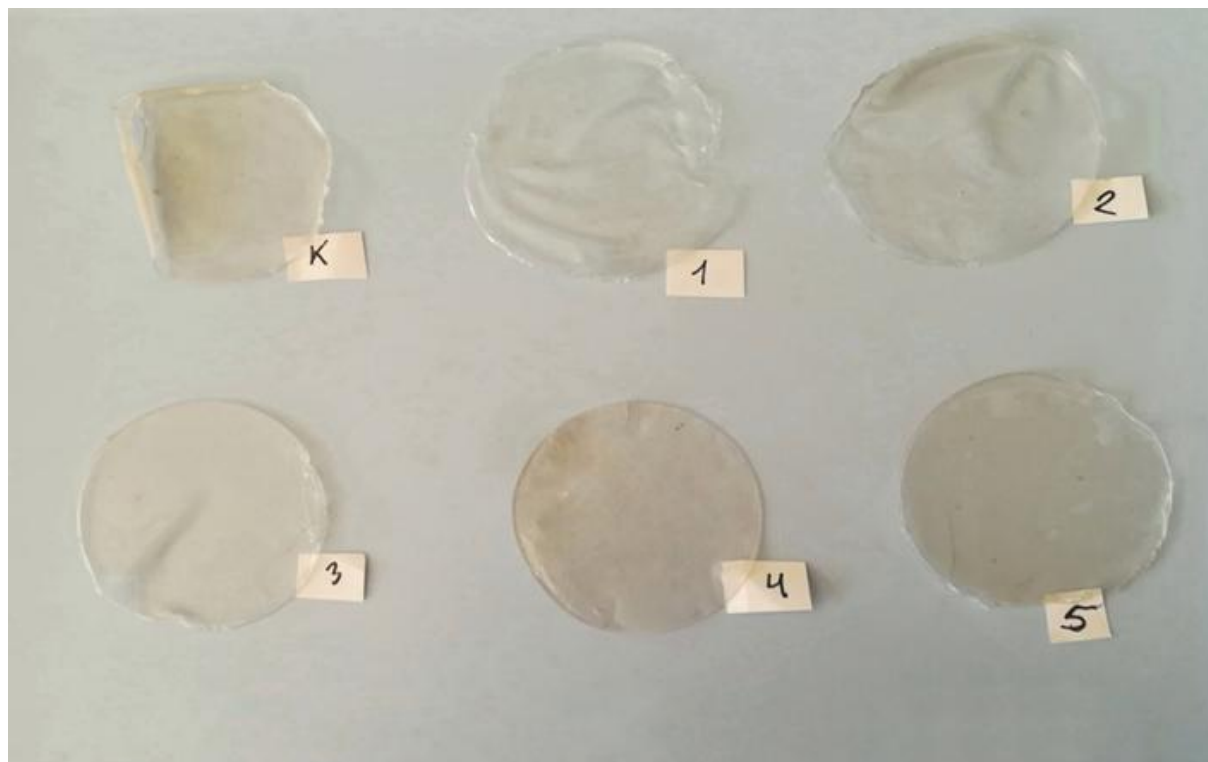



Рис. 2. Образцы биodeградируемых полимеров (пленок), полученных на основе картофельного крахмала при УЗВ в охлаждающей системе

Метод оценки бактериальной деградации композиционного материала

Метод исследования	Сущность метода	Применяемые культуры	Условия исследования	Время исследования
Метод 1 грибо-стойкость материалов	Определить устойчивость материала к воздействию культур плесневелых грибов	Aspergillus 	1. Освещённость, 2000 – 3000 лк; 2. Температура, $28 \pm 2$ °С. 3. Влажность, более 90 %.	14–28 суток

### Результаты и их обсуждение

В процессе исследования применения УЗВ для технологии получения биодеградируемого полимера, на основе картофельного крахмала, с разным соотношением внесенных компонентов при продолжительности обработки 5 мин при заданной мощности в охлаждающей системе (при температуре от 23 до 32 °С) был получен массив данных, представленный в табл. 3–5.

Результаты исследований полимеров, полученных на основе картофельного крахмала с определенным количеством наполнителя при УЗВ в охлаждающей системе, представленные в табл. 3, указывают, что УЗВ обработка обеспечивает глубокие изменения в композиционном материале и структуре крахмальных зерен.

Как видно из табл. 3, в образцах композиционных материалах, полученных на основе картофельного крахмала с определенным количеством наполнителя без УЗВ, в охлаждающей системе наблюдается частичное связывание крахмальных зерен. Пластификатор обволакивает практически каждую частицу крахмала, обеспечивая эластичность и прочность материала. При УЗВ обработке наблюдается полное обволакивание частиц крахмала пластификатором, происходит интенсивное связывание крахмальных зерен [1, 11].

При обработке образцов композиционных материалов, полученных на основе картофельного крахмала с определенным количеством наполнителя ультразвуком в течение 5 минут, в охлаждающей системе происходит интенсивный процесс набухания крахмальных зерен, часть наполнителя, обволакивающего крахмальные зерна вместе с водой, поступает внутрь зерен, вследствие этого постепенно

исчезает слоистость у зерен, наблюдается образование в центре крахмального зерна полости, а на его поверхности образуются углубления. Происходит разрыв водородных связей [7].

При обработке УЗВ 5 мин у образцов 2, 3, 4, 5 можно заметить присутствие больших и маленьких зерен крахмала в суспензии, в сопоставлении с контрольными образцами. УЗВ способствует изменению структурных и размерных характеристик образцов за счет кавитационной дезинтеграции. Такие изменения, вероятно, связаны с действием физических и термических факторов ультразвукового воздействия.

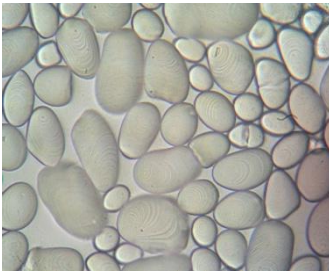
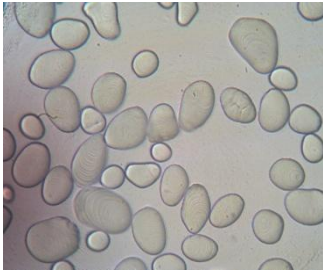
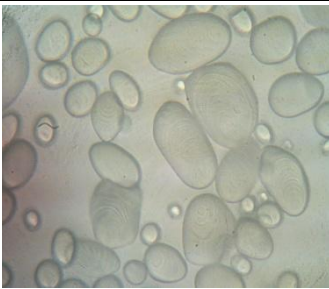
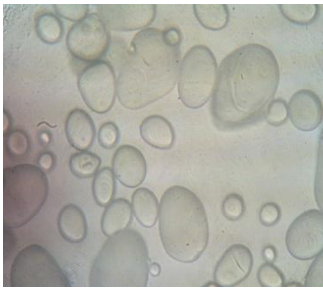
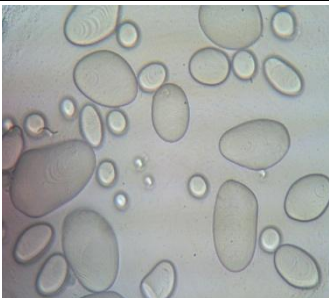



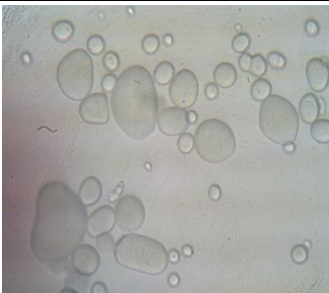
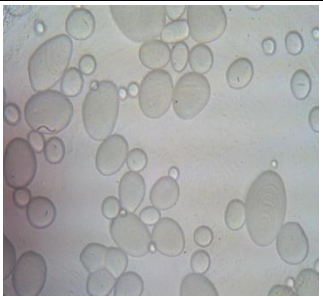
На следующем этапе эксперимента было проведено исследование вязкости образцов, полученных из суспензии композиционного материала, так как данный показатель является наиболее важным для дальнейшего получения биодеградируемого полимера, пленки.

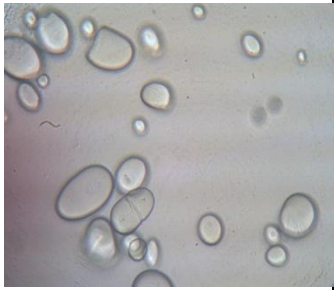
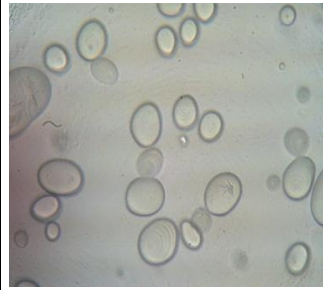
Стоит отметить, что стадия гелеобразования включает в себя несколько этапов: диффузия воды в гранулу крахмала, поглощение аморфными областями воды и гидратация, процессы набухания гранул крахмала, поглощение тепла, потеря слоистой структуры, потеря кристаллической упорядоченности из-за распада и раскручивания двойной спирали в кристаллических оболочках, высвобождение амилозы в среду раствора [2].

Ультразвук способствует изменению структуры крахмальных зерен, равномерному распределению наполнителя, пластификатора в суспензии. При этом отслеживается корреляционная зависимость показателей вязкости гелей, после термического воздействия. Картофельный крахмал, подвергнутый клеестерилизации, образует прозрачные гели желеоб-



Таблица 3  
Характеристики изменений в композиционных материалах, полученных на основе картофельного крахмала с определенным количеством наполнителя при УЗВ в охлаждающей системе

Объект исследования	Температура, °С (б/о)	Микрофотографии образцов (общее увеличение составляет ×400)	Температура, °С (охлаждающая система)	Микрофотографии образцов (общее увеличение составляет ×400)
		Без УЗВ обработки (б/о)		УЗВ 5 мин/ 100% мощность
Контроль	23,6 ± 0,3		25,8 ± 0,3	
Образец 1	23,4 ± 0,2		31,4 ± 0,4	
Образец 2	23,2 ± 0,3		31,3 ± 0,5	
Образец 3	23,4 ± 0,3		28,1 ± 0,4	
Образец 4	24,0 ± 0,2		31,1 ± 0,4	

Объект исследования	Температура, °С (б/о)	Микрофотографии образцов (общее увеличение составляет ×400)	Температура, °С (охлаждающая система)	Микрофотографии образцов (общее увеличение составляет ×400)
		Без УЗВ обработки (б/о)		УЗВ 5 мин/ 100% мощность
Образец 5	23,9 ± 0,3		30,7 ± 0,4	

разной консистенции. Температура клейстеризации картофельного крахмала составляет 55...65 °С. Полученные результаты в ходе исследования определения вязкости представлены в табл. 4.

Исходя из данных, представленных в табл. 4, видно, что у образцов суспензии композиционного материала без УЗВ (б/о) обработки при изменении соотношения полимеров и пластификатора (от 5 до 20 %) в суспензии значительно увеличивается вязкость. У образцов, подвергнутых УЗВ 5 мин наблюдается снижение вязкости в сопоставление с контрольными образцами. Данные изменения могут быть вызваны, разрушением связей между молекулами глюкозы в крахмальных зернах, что приводит к изменению структуры амилозы и амилопектина и их соотношения в системе.

Пленки из смеси крахмала, дополнительного пленкообразующего вещества альгината

и пластификатора – глицерина, отличаются от остальных пластиков тем, что разлагаются в окружающей среде под действием физических факторов и микроорганизмов – бактерий или грибов.

Из табл. 5 видна зависимость скорости биоразложения от способа получения пленки. При оценке образцов на грибостойкость, полученные результаты свидетельствуют о том, что споры плесневых грибов рода *Aspergillus* на образцах 2 и 5 развиваются интенсивнее, что говорит о биоразлагаемости данных образцов. В результате УЗВ обработки образуются модифицированная крахмальная суспензия, из которой получают биоразлагаемые пленки, при этом обладающие свойствами полимера.

Несмотря на то, что биоразлагаемым полимерам будет трудно в настоящее время стать чем-то большим, чем материалом будущего. Тем не менее, растущая экологическая

Таблица 4  
Вязкость образцов суспензии композиционного материала, полученные на основе картофельного крахмала при УЗВ в охлаждающей системе, мПа\*с

Объект исследования	Время УЗВ, мин	Вязкость, мПа*с		
		б/о	УЗВ 5 мин	t = 80 °С, 5 мин
Контроль	Без УЗВ	0,822	–	1125,624
Образец 1	5 мин	0,851	0,797	530,255
Образец 2		1,032	0,978	362,604
Образец 3		1,632	1,423	186,126
Образец 4		1,864	1,501	274,535
Образец 5		115,136	18,076	142,889

Таблица 5

Результаты оценки грибостойкости образцов биodeградируемых полимеров, полученные на основе картофельного крахмала в баллах

Образцы	Микромицет	
	Споры культуры плесневелых грибов рода <i>Aspergillus</i>	
Период наблюдения	14 суток	28 суток
	Баллы	
Контроль	0	0
Образец 1	1	2
Образец 2	2	3
Образец 3	0	1
Образец 4	1	1
Образец 5	2	3

озабоченность потребителей и правительств разных стран, которые поощряют сохранение естественных ресурсов, стимулируют рост производства биоразлагаемых полимеров, дает особенно много возможностей для внедрения инноваций в растущую популярность использования «зеленых» технологий в производстве биополимеров.

#### Литература

1. Беззубов, А.Д. Ультразвук и его применение в пищевой промышленности / А.Д. Беззубов, Е. И. Гарлинская, В.М. Фридман. – М.: Пищевая промышленность, 1964. – 196 с.
2. Гулюк, Н.Г. Крахмал и крахмалопродукты / Н.Г. Гулюк. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.
3. Крутько, Э.Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов / Э.Т. Крутько, Н.Р. Прокончук, А.И. Глоба. – Минск: Изд-во БГТУ, 2014. – 105 с.
4. Лысак, В.В. Микробиология / В.В. Лысак. – Минск: Изд-во БГУ, 2007. – 430 с.
5. Ермолович, О.А. Методы оценки биоразлагаемости полимерных материалов / О.А. Ермолович, А.В. Макаревич, Е.П. Гончарова, Г.М. Власова // Биотехнология. – 2005. – № 4. – С. 47–53.
6. Легонькова, О.А. Биоразлагаемые материалы в технологии упаковки / О.А. Легонькова [и др.] // Тара и упаковка. – 2003. – № 6. – С. 56–60.
7. Разработка технологии модификации крахмала. Часть 1: Ультразвуковое воздействие в охлаждающей системе / И.Ю. Потороко, А.В. Малинин, А.В. Цатуров и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 83–92. DOI: 10.14529/food180411
8. Полякова, Е.А. Свойства нового биodeградируемого композиционного материала на основе акрилового сополимера и крахмала // Е.А. Полякова, И.С. Коротнева, Б.С. Туров, А.В. Комин // Пластические массы. – 2015. – № 7-8. – С. 61–64.
9. Подденежный, Е.Н. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала (обзор) / Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко, А.А. Алексеенко, Н.Е. Дробышевская, О.В. Урецкая // Вестник ГГТУ ИМ. П.О. Сухого. – 2015. – № 2 – С. 31–41.
10. Руськина, А.А. и др. Анализ современных способов модификации крахмала как инструмента повышения его технологических свойств / А.А. Руськина, Н.В. Попова, Н.В. Науменко, Д.В. Руськин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 3. – С. 12–20. DOI: 10.14529/food170302
11. Shabana, S. et al. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles / S. Shabana, R. Prasansha, I. Kalinina, I. Potoroko, U. Bagale, S.H. Shirish // Ultrasonics Sonochemistry. – 2019. – V. 51. – P. 444–450. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.023



**Потороко Ирина Юрьевна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [irina\\_potoroko@mail.ru](mailto:irina_potoroko@mail.ru)

**Цатуров Арам Валерикович**, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [aram-chel@mail.ru](mailto:aram-chel@mail.ru)

**Малинин Артем Владимирович**, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [artemmalinin3@gmail.com](mailto:artemmalinin3@gmail.com)

**Руськина Алена Александровна**, старший преподаватель кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [ruskina\\_a@mail.ru](mailto:ruskina_a@mail.ru)

**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](mailto:uday_bagale@yahoo.co.in)

**Велямов Масимжан Турсунович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией биотехнологии, качества и пищевой безопасности, ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности» (г. Алматы, Казахстан), [vmasim58@mail.ru](mailto:vmasim58@mail.ru)

*Поступила в редакцию 11 сентября 2019 г.*

---

DOI: 10.14529/food190410

### ULTRASONIC EFFECTS ON THE PROPERTIES OF POTATO STARCH BASED BIODEGRADABLE POLYMERS

***I.Yu. Potoroko<sup>1</sup>, A.V. Tsaturov<sup>1</sup>, A.V. Malinin<sup>1</sup>, A.A. Ruskina<sup>1</sup>, Uday Bagale<sup>1,2</sup>, M.T. Velyamov<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

<sup>2</sup> National Institute of Technology, Warangal, Telangana State, India

<sup>3</sup> Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Republic of Kazakhstan

The purpose of the research was to study the properties of composite biopolymers obtained from potato starch. Nowadays this issue is of great scientific interest all over the world due to the problem of traditional plastics disposal and its harmful effects on the environment, which are constantly growing from year to year. The application of biopolymers based on various kinds of starches including potato starch is interesting because this feedstock is nearly unlimited and is constantly renewed. However, using starch-based biopolymers for the production of disposable houseware or packaging is restricted by certain difficulties connected with its further usage. The main drawback is increased moisture absorption: with the increase of starch content the fragility of a biodegradable film increases. Thus for solving these problems we changed the ratio of the biopolymer constituents which were exposed to ultrasonic treatment in a cooling system in order to obtain biodegradable films with improved deformation and mechanical characteristics. In order to obtain a biodegradable water-soluble film from the mixture of starch and additional film-forming substance, sodium alginate, we added there a plasticizer – glycerin. The test samples of composite polymers were exposed to ultrasound using an acoustic source of elastic oscillations (“Volna”, UZTA-0,4/22-OM), with a frequency of  $22 \pm 1,65$  kHz and maximum power of 400 W. The results of the tests have shown that a film obtained from the mixture of starch and sodium alginate and exposed to ultrasound in the optimal mode has the lowest resistance to molds which proves its biodegradability.

**Keywords:** biodegradable film, potato starch, biodegradable polymer, ultrasonic treatment, cooling system, packaging.

### References

1. Bezzubov A.D., Garlinskaya E.I., Fridman V.M. *Ul'trazvuk i ego primeneniye v pishchevoy promyshlennosti* [Ultrasound and its application in food industry]. Moscow, 1964. 196 p.
2. Gulyuk N.G. *Krakhmal i krakhmaloprodukty* [Starch and starch products]. Moscow, 1985. 240 p.
3. Krut'ko E.T., Prokopchuk N.R., Globa A.I. *Tekhnologiya biorazlagaemykh polimernykh materialov* [Technology of biodegradable polymers]. Minsk, 2014. 105 p.
4. Lysak V.V. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. Minsk, 2007. 430 p.
5. Ermolovich O.A., Makarevich A.V., Goncharova E.P., Vlasova G.M. [Methods of assessing biodegradability of polymers]. *Biotehnologiya* [Biotechnology], 2005, no. 4, pp. 47–53. (in Russ.)
6. Legon'kova O.A. et al. [Biodegradable materials in packaging technology]. *Tara i upakovka* [Packing and packaging], 2003, no. 6, pp. 56–60. (in Russ.)
7. Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Ruskina A.A., Shabana Shaik. Development of a Technology of Starch Modification. Part 1: Exposure to Ultrasound in a Cooling System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 83–92. (in Russ.) DOI: 10.14529/food180411
8. Polyakova E.A., Korotneva I.S., Turov B.S., Komin A.V. [Properties of a new biodegradable composite material based on acrylic copolymer and starch]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2015, no. 7-8, pp. 61–64. (in Russ.)
9. Poddenezhnyy E.N., Boyko A.A., Alekseenko A.A., Drobyshvskaya N.E., Uretskaya O.V. [Progress in obtaining biodegradable composite materials based on starch (review)]. *Vestnik GGTU IM. P.O. Sukhogo* [Bulletin on Sukhoi State Technical University of Gomel (GSTU)], 2015, no. 2, pp. 31–41. (in Russ.)
10. Ruskina A.A., Popova N.V., Naumenko N.V., Ruskin D.V. Analysis of Contemporary Methods of Modification of Starch as an Instrument of Enhancing its Technological Properties. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 3, pp. 12–20. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170302
11. Shabana S., Prasansha R., Kalinina I., Potoroko I., Bagale U., Shirish S.H. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, vol. 51, pp. 444–450. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.07.023

**Irina Yu. Potoroko**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina\_potoroko@mail.ru

**Aram V. Tsaturov**, Master's Degree Student at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

**Artem V. Malinin**, Master's Degree Student at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

**Alena A. Ruskina**, Senior Academic at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, ruskina\_a@mail.ru

**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

**Masimzhan T. Velyamov**, Doctor of Sciences (Biotechnology), Professor; Head of the Laboratory of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Republic of Kazakhstan, Almaty), vmasim58@mail.ru

Received September 11, 2019

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Влияние эффектов ультразвука на свойства биodeградируемого полимера, на основе картофельного крахмала / И.Ю. Потороко, А.В. Цатуров, А.В. Малинин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 94–103. DOI: 10.14529/food190410

### FOR CITATION

Potoroko I.Yu., Tsaturov A.V., Malinin A.V., Ruskina A.A., Uday Bagale, Velyamov M.T. Ultrasonic Effects on the Properties of Potato Starch Based Biodegradable Polymers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 94–103. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190410