

Оригинальная статья / Original article  
УДК 602.4 : (621.798 + 664)  
DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-703-711>

## Изучение свойств биоразлагаемых пленок из природных полисахаридов

© Л.С. Дышлюк, А.Ю. Просеков, Л.К. Асякина

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

**Резюме:** Проблемы, связанные с утилизацией отходов, во всем мире, в том числе и в России, определяют необходимость использования в упаковке экологических материалов – биополимеров. Актуальной является разработка технологий и рецептур биоразлагаемых пленок из отечественных ингредиентов для использования в упаковке пищевых и/или фармацевтических продуктов. Биоразлагаемые полимеры на основе природных полисахаридов имеют определенные преимущества по сравнению с пластиками. Основное из них – полная и быстрая разлагаемость при естественных и/или специально созданных условиях. При разработке технологии получения упаковочных материалов, в том числе и для пищевых продуктов, особое внимание уделяется характеристикам полученной упаковки, отвечающим за сохранность исходных качеств как самой упаковки, так и продукта определенное время, по крайней мере, до доставки потребителю. Поэтому низкая пропускная способность по отношению к кислороду и водяному пару – это особое свойство биоразлагаемых пленок, столь важное для пищевых упаковок. Предложены рецептуры образцов биоразлагаемых пленок из композиций природных полисахаридов (гидроксипропилметилцеллюлозы, каррагинана и агар-агара) и проведены исследования их основных свойств (степень биоразложения, газопроницаемость, водопоглощение, химическая стойкость, деградация и токсикологические свойства). По результатам исследования выбраны композиции, пригодные для использования в качестве основы экологических упаковочных материалов пищевых и фармацевтических продуктов. Определена максимальная устойчивость изучаемых пленок (т.е. период их полного растворения) в концентрированных соляной, серной и уксусной кислотах. Отмечено, что рассмотренные образцы биоразлагаемых пленок не оказывают токсического воздействия на природные экосистемы.

**Ключевые слова:** биополимеры, биоразлагаемые пленки, водопоглощение, газопроницаемость, биодеградация, токсикологичность, экологичность

**Информация о статье:** Дата поступления 8 апреля 2019 г.; дата принятия к печати 25 ноября 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 декабря 2019 г.

**Для цитирования:** Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю., Асякина Л.К. Изучение свойств биоразлагаемых пленок из природных полисахаридов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. N 4. С. 703–711. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-703-711>

## Property study of natural polysaccharide biodegradable films

Lyubov S. Dyshlyuk, Alexander Yu. Prosekov, Lyudmila K. Asyakina

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

**Abstract:** Issues associated with waste disposal all over the world, including in Russia, determine the urgency in applying biopolymers as environmentally-friendly packaging materials. Nowadays, the development of technologies and formulations of biodegradable films based on domestic ingredients for application in the packaging of food and/or pharmaceutical products is of a great relevance. Biodegradable polymers based on natural polysaccharides possess certain advantages over plastics, especially in terms of their complete and rapid degradability under natural and/or specially-created conditions. When developing the technology for producing packaging materials, including food production, special attention is paid to the characteristics of the resulting packaging, which is responsible for preserving the initial qualities of both the packaging and the product for a certain time, at least until delivered to the consumer. Therefore, low oxygen and water vapour

*permeability manifests itself as a special property of biodegradable films, having particular importance for food packaging applications. Formulations of biodegradable film samples obtained from compositions of natural polysaccharides (hydroxypropyl methylcellulose, carrageenan and agar-agar) are proposed and studies on their main properties (degree of biodegradation, gas permeability, water absorption, chemical resistance, degradation and toxicological properties) carried out. Based on the results of the study, compositions appropriate for application as the basis for environmentally friendly packaging materials for food and pharmaceutical products were selected. The maximum stability of the studied films (i.e., the period of their complete dissolution) in concentrated hydrochloric, sulphuric and acetic acids was determined. The considered samples of biodegradable films were proved to cause no toxic effects on natural ecosystems.*

**Keywords:** biopolymers, biodegradable films, water absorption, gas permeability, biodegradation, toxicity, environmental friendliness

**Information about the article:** Received April, 2019; accepted for publication November 25, 2019; available online December 30, 2019.

**For citation:** Dyshlyuk LS, Prosekov AYU, Asyakina LK. Property study of natural polysaccharide biodegradable films. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2019;9(4):703–711. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-703-711>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время спрос на биополимеры постоянно растет в связи с повышением требований общества к материалам, являющимся экологически безопасными [1].

Ученые уделяют особое внимание принципиально новым способам производства экологически безопасных нетоксичных упаковочных материалов, которые способны обеспечить качественную защиту продуктов от микробных поражений и воздействия кислорода, а также предотвратить их усушку в процессе производства и хранения. При этом важной характеристикой новых упаковочных материалов является возможность их легкой утилизации. Поэтому во всем мире большое внимание уделяется производству и расширению ассортимента биоразлагаемых упаковочных материалов, не засоряющих окружающую среду [2–6].

Важным преимуществом биоразлагаемых полимеров является возможность использования для их производства традиционных технологий и оборудования, что не требует значительных дополнительных затрат. Особое преимущество биоразлагаемых полимеров заключается в их низкой пропускной способности по отношению к кислороду и водяному пару, что очень важно для пищевых упаковок. Стойкость упаковки к разложению в стандартных условиях и вместе с тем быстрая и полная утилизация при естественных или специально созданных условиях помогает решать проблему накопления отходов. Независимость от нефтехимического сырья однозначно относится к преимуществам таких упаковочных материалов [7–9].

Перспективным сырьем для производства биоразлагаемых упаковочных материалов являются природные полисахариды – каррагинан, агар-агар и гидроксипропилметилцеллюлоза (ГПМЦ), а также композиции на их основе [10, 11].

Целью работы являлось изучение основных свойств (газопроницаемости; химической устойчивости по отношению к этиловому спирту, щелочам и кислотам; токсической безопасности) биоразлагаемых пленок на основе природных полисахаридов и их композитов для производства экологичных упаковочных материалов пищевых продуктов [12–16].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Объектами исследования являлись каппа-каррагинан (Boc Sciences, США); агар-агар (Helicon, США); гидроксипропилметилцеллюлоза (ГПМЦ) (Ashland Aqualon Functional Ingredients, США), а также биопленки из них [17–19]. Молекулярная масса полисахаридов: агар-агара 306n, ГПМЦ-748n, каппа-каррагинана-385n.

Средние значения термодинамических параметров биополимеров определяли по трем измерениям.

Исследовали зависимость вязкости растворов от pH и от концентрации соли (NaCl). Вязкость растворов измеряли на вискозиметре ротационного типа Brookfield LVF. Для термостатирования использовали криотермостат LOIP FT-211-25 (Россия). Все измерения проводили в прилегающих к вискозиметру термостатируемых стаканах.

Расчет энтальпии перехода проводили на грамм сухого вещества. Экспериментальная ошибка определения температуры фазового перехода  $T_m$  составляла  $\pm 0,1$  °C, для теплоты фазового перехода  $\Delta H_m$  и теплоемкости фазового перехода  $\Delta C_p$  экспериментальная ошибка составляла  $\pm 5,0$  % от определяемой величины.

Для получения изотерм сорбции паров воды предложенными образцами пленок, полученных на основе композиций природных полисахаридов, использовали метод изопиестических серий. Образцы пленок взвешивали на

электронных весах (с погрешностью 0,001 г). Постоянство относительных давлений обеспечивалось применением насыщенных растворов солей. На всех изотермах отмечался резкий рост величины сорбции в области при  $p/p_0$  0,4–0,6, свойственный плотно упакованным и растворимым в сорбате полимерам.

Изучали энергию Гиббса смешения природных полисахаридов в общем растворителе (воде). Энергия Гиббса смешения полисахаридов  $\Delta g_x$  лежала в области как отрицательных, так и положительных значений. Значения  $\Delta g_x < 0$  свидетельствовали о термодинамической стабильности образующихся растворов. При смене знака энергии Гиббса, то есть при  $\Delta g_x > 0$ , система теряла устойчивость и расслаивалась. Анализ зависимости термодинамических функций от состава композиций природных полисахаридов представлен в табл. 1.

Изучение термодинамических свойств биополимеров (энергия Гиббса смешения природных полисахаридов в общем растворителе (воде) и энтальпия смешения полимеров) позволили получить информацию о термодинамической устойчивости и совместимости бинарной системы полимер – полимер. Из 33 различных рецептов на основе полисахаридов были ото-

браны 13, пригодных для использования в биоразлагаемых упаковочных материалах. Рецептуры предлагаемых образцов исследуемых биопленок представлены в табл. 2.

Степень биоразложения определяли методом, основанным на оценке воздействия обитающих в естественных биоценозах микроорганизмов (*Penicillium funiculosum*, *Aspergillus niger*, *Paecilomyces variotii*, *Aureobasidium pullulans*, *Aspergillus terreus*, *Penicillium ochrochloron*) на исследуемые образцы пленок, инкубируя в термостате в течение 6 месяцев образцы исследуемых пленок при относительной влажности не менее 90 % и температуре 29 °C (ISO 846:1997).

Измерение водопоглощения пленок изучали в соответствии с требованиями ГОСТ 4650-2014.

Массовую долю поглощенной образцом воды определяли по формуле:

$$c = 13 \cdot [(m_2 - m_1) / m_1] \cdot 100,$$

где  $m_1$  – масса испытуемого образца после первоначального просушивания и перед погружением в воду, мг;  $m_2$  – масса испытуемого образца после выдержки в воде, мг.

Таблица 1

Энергия Гиббса смешения природных полисахаридов

Table 1

Gibbs mixing energy of natural polysaccharides

Состав композиции	Диапазон соотношений концентраций полисахаридов	
	при $\Delta g_x < 0$	при $\Delta g_x > 0$
Каррагинан и ГПМЦ	от 2,1 до 10,0	2,0 и менее
Каррагинан и агар-агар	от 2,5 до 10,0	2,5 и менее
ГПМЦ и агар-агар	от 1,1 до 6,0	1,0 и менее
Каррагинан, ГПМЦ и агар-агар	от 0,26 до 4,0	0,25 и менее

Таблица 2

Состав исследуемых композиций

Table 2

Studied compositions

Номер образца	Количество ингредиента, % масс.				
	Каррагинан	ГПМЦ	Агар-агар	Глицерин	Вода
2	10,0	2,5	–	10,0	77,5
3	20,0	2,5	–	10,0	67,5
6	20,0	5,0	–	10,0	65,0
11	10,0	–	2,5	10,0	77,5
12	20,0	–	2,5	10,0	67,5
15	20,0	–	5,0	10,0	65,0
20	–	5,0	2,5	10,0	82,5
21	–	10,0	2,5	10,0	77,5
24	–	10,0	5,0	10,0	75,0
28	5,0	2,5	2,5	10,0	80,0
29	10,0	2,5	2,5	10,0	75,0
30	20,0	2,5	2,5	10,0	65,0
33	20,0	5,0	5,0	10,0	60,0

Исследование газопроницаемости пленок по кислороду проводили по методу дифференциального давления, используя вакуумный тестер для определения проницаемости пленочной упаковки VAC-V1 (Labthink Instruments Co., Ltd, P.R. China). Для исследований использовали кислород технический I сорта (чистота газа 99,7 %).

Для определения химической стойкости пленок в химически активную среду, предварительно подготовленную в стеклянной посуде, опускали часть каждого образца и с помощью секундомера определяли время его разложения.

Деградацию пленок в модельных биологических средах определяли следующим образом: образцы пленок инкубировали в течение 30 суток в модельных биологических средах – растворах, моделирующих желудочный и кишечный сок, и регистрировали характер изменений свойств пленок. Раствор, моделирующий желудочный сок, готовили следующим образом: pH 0,9 %-го раствора NaCl доводили до 2 концентрированной соляной кислотой, стерилизовали в автоклаве 20 мин при 1 атм., добавляли в раствор 0,3 г/л пепсина, растворенного в небольшом количестве воды. Раствор, моделирующий кишечный сок, готовили в стерильном фосфатном буфере с pH = 7,4, куда вносили 1 г/л панкреатина, растворяя его в небольшом количестве воды. Для предотвращения биодегradации бактериями во все растворы был добавлен 1 г/л азида натрия.

Оценку токсикологических свойств пленок проводили, изучая их влияние на фито- и зоопланктон. При работе с фитопланктоном использовали альгологически чистую суточную культуру водорослей *Chlorella vulgaris* Beijer оптической плотностью 0,625 в соответствии с ФР.1.39.2011.10993. Нарастивание культуры водоросли хлорелла определяли после 22 ч культивирования. Оценку токсичности проводили по

достижении величины оптической плотности в контрольных флаконах 0,120 и более, измеряя оптическую плотность культуры тест-объекта и сравнивая суточный прирост численности клеток водорослей в контрольном и опытном вариантах.

При работе с зоопланктоном использовали низших ракообразных по методике, представленной в ФР.1.39.2010.09102 с модификацией СТО ТГУ 137-2015. Длительность проведения эксперимент – 72 ч. Смертность дафний в контрольном и опытном вариантах учитывали каждые 24 ч. Опыт прекращали, если в течение 24 ч во всех опытных пробирках наблюдали гибель более 50 % рачков.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 3 представлены данные о степени биоразложения выбранных образцов пленок.

Установлено, что все тестируемые образцы пленок являются биоразлагаемыми (см. табл. 2). В течение 6 месяцев (в рамках изучаемого периода) максимальная степень биодегradации (92,0; 94,0 и 95,0 %) была характерна для образцов № 6, 15 и 30 соответственно, а минимальная (65,0 и 68,0 %) – для образцов № 24 и 2.

Результаты тестирования водопоглощения образцов пленок на основе природных полисахаридов приведены на рис. 1.

Минимальным водопоглощением характеризуются образцы пленок № 8 (3 %), 12 (4 %), 3 (5 %), 2 (7 %) и 6 (8 %), максимальным – № 7 (180 %), 5 (156 %) и 10 (120 %). На основании полученных данных сделан вывод о предпочтительном использовании в упаковочной отрасли пленок следующих образцов: № 8 (по 10,0 % масс. каррагинана и ГПМЦ), № 12 (20,0 % масс. каррагинана и 2,5 % масс. агар-агара), № 3 (20,0 % масс. Каррагинана и 2,5 % масс. ГПМЦ), № 2 (10,0 % масс. каррагинана и 2,5 % масс. ГПМЦ) и № 6 (20,0 % масс. каррагинана и 5,0 % масс. ГПМЦ).

**Таблица 3**  
**Степень биоразложения пленок, полученных на основе природных полисахаридов**

**Table 3**

#### **Biodegradation degree of natural polysaccharides based films**

Номер образца	Доля потери массы, %, через					
	1 месяц	2 месяца	3 месяца	4 месяца	5 месяцев	6 месяцев
2	27,0	34,0	40,0	52,0	60,0	68,0
3	40,0	47,0	53,0	60,0	68,0	75,0
6	58,0	65,0	72,0	79,0	86,0	92,0
11	46,0	57,0	64,0	70,0	75,0	83,0
12	39,0	46,0	53,0	60,0	68,0	79,0
15	57,0	65,0	73,0	82,0	90,0	94,0
20	37,0	44,0	52,0	60,0	67,0	73,0
21	35,0	48,0	56,0	64,0	72,0	81,0
24	30,0	35,0	44,0	51,0	60,0	65,0
28	40,0	46,0	53,0	62,0	70,0	77,0
29	35,0	42,0	49,0	57,0	64,0	70,0
30	54,0	63,0	70,0	76,0	83,0	90,0
33	38,0	45,0	51,0	58,0	64,0	72,0

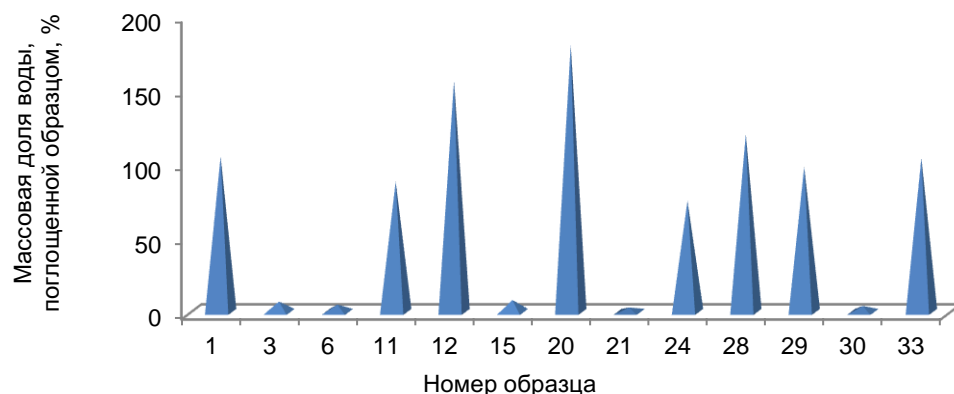


Рис. 1. Водопоглощение образцов пленок на основе природных полисахаридов

Fig. 1. Water absorption of natural polysaccharides based films

Результаты исследования газопроницаемости предлагаемых образцов пленок по отношению к кислороду приведены в табл. 4.

Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что минимальная газопроницаемость по кислороду характерна для образцов пленок № 21 и 24, максимальная – для образцов № 20, 30 и 12.

Химическую устойчивость пленок анализировали по отношению к щелочам (гидроксид натрия, гидроксид калия), к этиловому спирту, сильным (соляная и серная) и слабым кислотам (уксусная). Полученные результаты представлены в табл. 5.

Как видно из представленных в табл. 5 данных, минимальная устойчивость для всех пленок наблюдается в 6,0 М соляной кислоте, период полного растворения составил от 0,4 до 2,0 ч. В концентрированной серной кислоте все пленки оказались немного устойчивее по сравнению с соляной кислотой, период полного растворения составил 5,0–24,0 ч. Концентрированная уксусная кислота имела менее агрессивное действие на тестируемые пленки – период полного рас-

творения составил от 15,0 до 30,0 ч.

Таблица 4

Газопроницаемость биоразлагаемых пленок на основе природных полисахаридов по кислороду

Table 4

Oxygen gas permeability of natural polysaccharides based biodegradable films

Номер образца	Газопроницаемость, $\text{см}^3/\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч} \cdot \text{атм}$
2	36,859±1,843
3	356,423±17,821
6	185,120±9,256
11	87,324±4,366
12	440,569±22,028
15	18,585±0,929
20	621,230±31,062
21	2,335±0,117
24	8,909±0,445
28	69,284±3,464
29	287,325±14,366
30	505,019±25,251
33	77,764±3,888

Таблица 5

Химическая устойчивость пленок, полученных на основе растительных полисахаридов

Table 5

Chemical stability of natural polysaccharides based films

Растворитель	Продолжительность растворения образца, ч												
	Образец												
	2	3	6	11	12	15	20	21	24	28	29	30	33
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, 96%	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
NaOH, 0,1 М	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
NaOH, 2,0 М	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
KOH, 0,1 М	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
KOH, 2,0 М	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 0,1 М	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 6,0 М	10,0	8,5	12,0	7,5	5,0	15,0	18,0	6,0	24,0	9,0	12,5	5,0	11,0
HCl, 0,1 М	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
HCl, 6,0 М	1,2	0,8	1,0	0,5	1,5	1,1	0,6	1,3	0,4	1,8	1,3	2,0	0,7
CH <sub>3</sub> COOH, 0,1 М	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
CH <sub>3</sub> COOH, 8,75 М	18,5	21,0	24,0	25,0	20,0	19,0	27,0	26,5	15,0	30,0	22,0	24,5	23,0

Примечание. «–» – образцы не растворились; «±» – образцы набухли, но не растворились.

Результаты изучения деградации пленок в модельных биологических средах, приближенных по составу к биологическим жидкостям организма – желудочному и кишечному соку, приведены в табл. 6.

Данные, представленные в табл. 6, свидетельствуют о том, что в буферном (рН = 7,4) и физиологическом растворах все тестируемые образцы пленок растворяются с низкой скоростью. Максимальная скорость биodeградации в буферном растворе отмечена для образцов № 11 (180 ч) и 33 (195 ч), в физиологическом

растворе – для образцов № 3 (95 ч) и 15 (100 ч).

Быстрая биodeградация в модельном желудочном соке характерна для образцов № 2 (15 ч), 20 (17 ч) и 33 (17 ч), в модельном кишечном соке – для образцов № 3 (5 ч), 33 (6 ч) и 15 (7 ч).

В табл. 7 представлены результаты изучения токсикологических показателей биоразлагаемых упаковочных материалов (токсичность для фитопланктона (одноклеточных зеленых водорослей) и зоопланктона (низших ракообразных)).

**Таблица 6**

**Деградация пленок, полученных на основе растительных полисахаридов, в модельных биологических средах**

**Table 6**

**Degradation of natural polysaccharides based films in simulated biological media**

Модельные биологические среды	Продолжительность деградации образца, ч												
	Номер образца												
	2	3	6	11	12	15	20	21	24	28	29	30	33
Буферный раствор, рН = 7,4	255	315	200	180	205	310	300	280	260	275	305	212	195
Физиологический раствор	175	95	150	165	125	100	130	150	170	110	105	160	180
Кишечный сок	12	5	15	24	20	7	11	22	8	12	25	9	6
Желудочный сок	15	20	25	18	24	20	17	16	22	21	26	19	17

**Таблица 7**

**Токсикологические показатели пленок, полученных на основе растительных полисахаридов**

**Table 7**

**Toxicological parameters of natural polysaccharides based films**

Номер образца	Тест-организм*	Тест-реакция**	Кратность разведения до безопасного уровня	Класс опасности	Общий класс опасности
2	1	A	0,75	V	IV
	2	B	5,14	IV	
3	1	A	1,04	V	V
	2	B	0,90	V	
6	1	A	0,78	V	V
	2	B	0,94	V	
11	1	A	0,85	V	V
	2	B	1,00	V	
12	1	A	0,70	V	IV
	2	B	2,13	IV	
15	1	A	6,76	IV	IV
	2	B	15,34	IV	
20	1	A	0,72	V	V
	2	B	1,03	V	
21	1	A	12,11	IV	IV
	2	B	0,79	V	
24	1	A	7,18	IV	IV
	2	B	10,00	IV	
28	1	A	1,11	V	IV
	2	B	4,52	IV	
29	1	A	0,90	V	V
	2	B	0,71	V	
30	1	A	8,15	IV	IV
	2	B	12,06	IV	
33	1	A	14,38	IV	IV
	2	B	1,04	V	

\* Тест-организм: 1 – *Chlorella vulgaris* Beijer; 2 – *Daphnia magna*;

\*\* Тест-реакция: A – ингибирование роста тест-культуры, B – смертность.

Из табл. 7 следует, что по степени токсического воздействия на природные экосистемы образцы упаковочных материалов № 2, 12, 15, 21, 24, 28, 30 и 33 относятся к IV классу опасности (малоопасные), а образцы № 3, 5, 11, 20 и 29 – к V классу опасности (практически неопасные).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изучены свойства биопленок тринадцати рецептур на основе комбинаций природных полисахаридов (агар-агар, гидроксипропилметилцеллюлоза и каррагинан). Установлено, что все тестируемые пленки являются биоразлагаемыми.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Тасекеев М.С., Еремеева Л.М. Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК: аналитический обзор. Алматы: Изд-во Национального центра научно-технической информации, 2009. 200 с.
2. Балов А., Ашпина О. Мировой рынок биополимеров // *The Chemical Journal*. 2012. N 3. С. 48–53.
3. Kolybaba M., Tabil L.G., Panighari S., Crear W.J., Powell T., Wang B. Биоразлагаемые полимеры: прошлое, настоящее и будущее // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. 2010. N 1. С. 17–33.
4. Rudin A., Choi P. *The Elements of Polymer Science & Engineering* (Third Edition). UK, London: Elsevier Inc., Academic Press, 2013. 584 p. <https://doi.org/10.1016/C2009-1-64286-6>
5. Wool R.P., Sun X.S. *Bio-Based Polymers and Composites*. USA, Boston: Elsevier Inc., Academic Press, 2005. 640 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-763952-9.X5000-X>
6. Reddy M.M., Vivekanandhan S., Misra M. Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities // *Progress in polymer science*. 2013. Vol. 38. Issue 10-11. P. 1653–1689. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.006>
7. Асякина Л.К., Просеков А.Ю., Дышлюк Л.С. Технологии биоразлагаемых упаковочных материалов: монография. Кемерово: Изд-во Кемеровского технологического института пищевой промышленности (университета), 2017. 118 с.
8. Чернобаева М.В., Салим Хусам, Скатов С.А., Демина Н.Б. Пленочные покрытия пероральных лекарственных форм // *Фармация*. 2010. N 8. С. 45–51.
9. De Camargo Andrade-Molina T.P., Shirai M.A., Grossmann M.V., Yamashita F. Active biodegradable packaging for fresh pasta // *LWT-Food Science and Technology*. 2013. Vol. 54. Issue 1. P. 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.011>
10. Полимерные пленки/под ред. Е.М. Абдельм-Бари; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия. 2005. 350 с.
11. Андрианова Г.П. Физико-химические основы создания и модификации многослойных композиционных пористых и волокнисто-пористых полимерных материалов // *Дизайн и технологии*. 2010. N 17. С. 70–81.
12. Белик Е.С., Рудакова Л.В. Оценка эффективности деструкции биоразлагаемых полимерных материалов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика*. 2012. N 1 (5). С. 78–88.
13. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред; 2-е изд., перераб. и доп. М: Химия, 1972. 232 с.
14. Цой Б., Карташов Э.М., Шевелев В.В. Прочность и разрушение полимерных пленок и волокон. М.: Химия, 1999. 496 с.
15. Трофимов Н.Н., Канович М.З. Основы создания полимерных композитов. М.: Наука, 2000. 538 с.
16. Mudhoo A., Mohee R., Unmar G.D., Sharma S.K. Degradation of Biodegradable and Green Polymers in the Composting Environment. In: S.K. Sharma, A. Mudhoo (eds.) *A Handbook of Applied Biopolymer Technology: Synthesis, Degradation and Applications*. UK: Royal Society of Chemistry, 2011. P. 332–364. <https://doi.org/10.1039/9781849733458>
17. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Разработка технологии получения биоразлагаемых пленок на основе природных полисахаридов методом экструзии через щелевую фильеру // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2019. № 2 (38). С. 89–97. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2019-2-89-97>
18. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Оптимизация с использованием регрессионного анализа технологических параметров процесса экструзии с раздувом // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2018. N 45 (71). С. 123–126.
19. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Изучение термодинамическими методами потенциала природных композитов как основы биоразлагаемых пленок // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2018. № 2 (22). С. 29–41. <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2018-2-3>

## REFERENCES

1. Tasekeev MS, Ereemeeva LM. *The production of biopolymers as one of the ways to solve the problems of ecology and agriculture: an analytical review*. Almaty: National Center for Scientific and Technical Information; 2009. 200 p. (In Russian)
2. Balov A, Ashpina O. World Biopolymer Market. *Khimicheskii zhurnal* = The Chemical Journal. 2012;3:48–53. (In Russian)
3. Kolybaba M, Tabil LG, Panighari S, Crear WJ, Powell T, Wang B. Biodegradable Polymers: Past, Present and Future. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov*. 2010;1:17–33. (In Russian)
4. Rudin A, Choi P. *The Elements of Polymer Science & Engineering*. 3rd ed. UK, London: Elsevier Inc., Academic Press; 2013. 584 p. <https://doi.org/10.1016/C2009-1-64286-6>
5. Wool RP, Sun XS. *Bio-Based Polymers and Composites*. USA, Boston: Elsevier Inc., Academic Press; 2005. 640 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-763952-9.X5000-X>
6. Reddy MM, Vivekanandhan S, Misra M. Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. *Progress in polymer science*. 2013;38(10-11):1653–1689. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.006>
7. Asyakina LK, Prosekov AYU, Dyshlyuk LS. *Biodegradable Packaging Technology*. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2017. 118 p. (In Russian)
8. Chernobayeva MV, Salim Husam, Skatkov SA, Demina NB. Film coatings for oral dosage forms. *Farmatsiya* = Pharmacy. 2010;8:45–51. (In Russian)
9. De Camargo Andrade-Molina TP, Shirai MA, Grossmann MV, Yamashita F. Active biodegradable packaging for fresh pasta. *LWT-Food Science and Technology*. 2013;54(1):25–29. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.011>
10. *Polymer films*. E.M. Abdel-Bari EM. (ed.) St. Petersburg: Professiya; 2005. 350 p. (In Russian)
11. Andrianova GP. Physicochemical principles for the creation and modification of multilayer composite porous and fibrous-porous polymeric materials. *Dizain i tekhnologii*. = Design and technologies. 2010;17:70–81. (In Russian)
12. Belik E, Rudakova L. Investigation of destruction biodegradable polymeric materials. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. Urbanistika = Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urban development. 2012;1:78–88. (In Russian)
13. Zuev YuS. *Destruction of polymers under the influence of aggressive environments*. Moscow: Khimiya; 1972. 232 p. (In Russian)
14. Tsoi B, Kartashov EM, Shevelev VV. *Strength and fracture of polymer films and fibers*. Moscow: Khimiya, 1999; 496 p. (In Russian)
15. Trofimov NN, Kanovich MZ. *Fundamentals of creating polymer composites*. Moscow: Nauka; 2000. 538 p. (In Russian)
16. Mudhoo A, Mohee R, Unmar GD, Sharma SK. Degradation of Biodegradable and Green Polymers in the Composting Environment. In: Sharma SK, Mudhoo A. (eds.) *A Handbook of Applied Biopolymer Technology: Synthesis, Degradation and Applications*. UK: Royal Society of Chemistry; 2011. P. 332–364. <https://doi.org/10.1039/9781849733458>
17. Dyshlyuk LS, Prosekov AYU. Development of technology for the production of biodegradable films on the basis of natural polysaccharides by extrusion through the slit die. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*. = Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences. 2019;2:89–97. (In Russian) <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2019-2-89-97>
18. Dushlyuk L.S., Prosekov A.Yu. Optimization using regression analysis of technological parameters of extrusion process. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* = Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University). 2018;45:123–126. (In Russian)
19. Dyshlyuk LS, Prosekov AYU. Thermodynamic methods of capacity of natural composites as the basis of bio-dependable membranes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki*. = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2018;2: 29–41. (In Russian) <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2018-2-3>

## Критерии авторства

Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю., Асякина Л.К. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Contribution

Lubov S. Dushlyuk, Alexander Yu. Prosekov, Lyudmila K. Asyakina carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Lubov S. Dushlyuk, Alexander Yu. Prosekov, Lyudmila K. Asyakina have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.



*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Дышлюк Любовь Сергеевна,**  
к.т.н., научный руководитель,  
Научно-образовательного центра,  
Кемеровский государственный университет,  
650000, г. Кемерово, Красная ул., 6,  
Российская Федерация,  
✉e-mail: dyshlyuk85@bk.ru

**Просеков Александр Юрьевич,**  
д.т.н., член-корр. РАН,  
ректор университета,  
Кемеровский государственный университет,  
650000, г. Кемерово, Красная ул., 6,  
Российская Федерация,  
e-mail: olich.43@mail.ru

**Асякина Людмила Константиновна,**  
к.т.н., старший преподаватель кафедры  
бионанотехнологии,  
Кемеровский государственный университет,  
650000, г. Кемерово, Красная ул., 6,  
Российская Федерация,  
e-mail: alk\_kem@mail.ru

#### **AUTHORS' INDEX**

**Lubov S. Dushlyuk,**  
Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center  
for Research and Education,  
Kemerovo State University,  
6, Krasnaya St., Kemerovo 650000,  
Russian Federation,  
✉e-mail: dyshlyuk85@bk.ru

**Alexander Yu. Prosekov,**  
Dr. Sci. (Engineering), Corresponding Member  
of RAS, Rector,  
Kemerovo State University,  
6, Krasnaya St., Kemerovo 650000,  
Russian Federation,  
e-mail: olich.43@mail.ru

**Lyudmila K. Asyakina,**  
Cand. Sci. (Engineering), Senior Lecturer,  
Department of Bionanotechnology,  
Kemerovo State University,  
6, Krasnaya St., Kemerovo 650000,  
Russian Federation,  
e-mail: alk\_kem@mail.ru