Получено: 24.04.2022 г. | Принято: 29.04.2022 г. | DOI: https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.196.203
Научная статья

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИМЕРОВ И НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

О.А.Фарус[1], к.х.н., доц., *ORCID: 0000-0002-1426-6534* / ***farusok@yandex.ru***

Аннотация. Работа посвящена вопросам получения и оценки эффективности биоразлагаемых пленочных материалов на основе гидрогелей полимеров и наночастиц серебра. В качестве матрицы в рассматриваемых материалах используются поливиниловый спирт и крахмал картофельный и кукурузный. Данные полимеры безопасны для человека и позволяют получить биоразлагаемые материалы. Внедрение наночастиц серебра в рассматриваемые пленочные материалы позволяет повысить их антибактериальные и фунгицидные свойства. Произведенный сравнительный анализ полученных пленочных материалов показал, что наиболее перспективными являются материалы на основе поливинилового спирта, кукурузного крахмала с наночастицами серебра (ПВС/ККук/Ag_{nano}).

Ключевые слова: биоразлагаемые пленочные материалы, гидрогель, наночастицы серебра, антибактериальные и фунгицидные свойства

Для цитирования: О.А. Фарус. Биоразлагаемые пленочные материалы на основе гидрогелей полимеров и наночастиц серебра. НАНОИНДУСТРИЯ. 2022. Т. 15, № 3–4. С. 196–203. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.196.203

Received: 24.04.2022 | Accepted: 29.04.2022 | DOI: https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.196.203
Original paper

BIODEGRADABLE FILM MATERIALS BASED ON POLYMER HYDROGELS AND SILVER NANOPARTICLES

O.A.Farus[1], Cand. of Sci. (Chemical), Docent, *ORCID: 0000-0002-1426-6534* / ***farusok@yandex.ru***

Abstract. This work deals with various aspects of obtaining and evaluating the effectiveness of biodegradable film materials based on polymer hydrogels and silver nanoparticles. Polyvinyl alcohol and potato and maize starch are used as a matrix in the materials under consideration. These polymers are safe for humans and allow of obtaining biodegradable materials. Introduction of silver nanoparticles into the film materials under consideration makes it possible to increase their antibacterial and fungicidal properties. The comparative analysis of the obtained film materials demonstrated the most promising materials based on polyvinyl alcohol and maize starch with silver nanoparticles (PVS/MaizeStarch/Ag_{nano}).

Keywords: biodegradable film materials, hydrogel, silver nanoparticles, antibacterial and fungicidal properties

For citation: O.A. Farus. Biodegradable film materials based on hydrogels polymers and silver nanoparticles. NANOINDUSTRY. 2022. V. 15, no. 3–4. PP. 196–203. https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.3-4.196.203

[1] Оренбургский государственный педагогический университет, Оренбург, Россия / Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, Russia

ВВЕДЕНИЕ

Современная реальность диктует новые условия жизни. Так, одной из глобальных проблем современности является загрязнение окружающей среды бытовыми трудноразлагаемыми отходами, чаще всего это бытовой пластик и полиэтилен. Пандемия коронавируса способствовала появлению нового термина – мусор COVID-19. Под мусором COVID-19 подразумеваются отходы, образующиеся при использовании средств индивидуальной защиты, например использованные одноразовые маски, перчатки и флаконы от дезинфицирующих средств [1]. Согласно данным, приводимым в вестнике Environmental Science & Technology Journal, каждый месяц на выброс отправляются 129 млрд масок и 65 млрд перчаток. Таким образом, в современной действительности наблюдается существенное увеличение нагрузки на окружающую среду в виде практически не разлагаемого пластика и полиэтилена. Для уменьшения степени загрязнения окружающей среды необходимо перейти на повсеместное применение биоразлагаемых материалов. При этом наибольшую практическую значимость имеют биоразлагаемые материалы, обладающие дополнительными функциональными свойствами [5]. Поэтому практика привлечения достижений нанохимии при разработке биоразлагаемых материалов является одним из способов снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В большинстве случаев современные наноматериалы используют или производят не в виде монокомпонентных систем, состоящих из нескольких типов изолированных или компактированных наночастиц, а в форме нанокомпозитов (композиционных наноматериалов), содержащих не менее двух компонентов, где хотя бы один имеет размеры в пределах 1–100 нм. С точки зрения описанной проблемы хорошие перспективы имеют биоразлагаемые материалы, модифицированные наночастицами. Перспективность данных материалов обусловлена несколькими причинами. Во-первых, за счет правильного подбора основы композитного материала можно добиться его биоразлагаемости, во-вторых, внедрением различных видов наночастиц можно изменять функциональные свойства материалов.

В рамках исследования были разработаны методики синтеза биоразлагаемых пленок. Анализ литературных данных показывает, что такой природный полимер как крахмал достаточно эффективно используется при создании биоразлагаемых материалов [3, 4]. Широкое применение крахмала

INTRODUCTION

Modern reality dictates new living conditions. Hence, pollution of the environment with household hard-to-degrade waste, most commonly household plastics and polyethylene is one of the global problems of the world. The coronavirus pandemic has contributed to emergence of a new term – COVID-19 rubbish. COVID-19 rubbish refers to the waste generated by use of personal protective equipment, such as used disposable masks, gloves and disinfectant vials [1]. According to the Environmental Science & Technology Journal, 129 billion masks and 65 billion gloves are discarded every month. This means that nowadays there is a significant increase of burden on the environment in the form of virtually indestructible plastic and polyethylene. In order to reduce environmental pollution, it is necessary to move towards the widespread use of biodegradable materials. At the same time, biodegradable materials with additional functional properties have the greatest practical relevance [5]. Therefore, the practice of involving nanochemistry in the development of biodegradable materials is one of the ways to reduce the technogenic burden on the environment.

RESEARCH METHODS

In most cases, modern nanomaterials are not used or produced as monocomponent systems consisting of several types of isolated or compacted nanoparticles, but rather in the form of nanocomposites (composite nanomaterials) containing at least 2 components where at least one has a size range of 1–100 nm. From the point of view of the described problem, biodegradable materials modified with nanoparticles have good prospects. These materials are promising for several reasons. Firstly, the biodegradability of the composite material can be achieved through the right choice of its base, and secondly, use of the functional properties of materials can be changed by introduction of different types of nanoparticles.

As part of this study, the methods for the synthesis of biodegradable films have been developed. Analysis of literature data shows that such natural polymer as starch is quite effectively used in producing biodegradable materials [3, 4]. Wide application of starch is due to its composition. It consists of two polymeric components, amylose (linear molecules) and amylopectin (branched molecules), whose chains are constructed of α-D-glucopyranose residues.

The gel-forming component in starch is amylose. Analysis of literature data showed that the percentage of amylose in potato and maize starches is 20% (more often 13–17%) and 25%

определяется его составом. Он состоит их двух полимерных компонентов – амилозы (линейные молекулы) и амилопектина (разветвленные молекулы), цепи которых построены из остатков α-D-глюкопиранозы.

Гелеобразующим компонентом в составе крахмала является амилоза. Анализ литературных данных показал, что процентное содержание амилозы в картофельном и кукурузном крахмалах составляет 20% (чаще 13–17%) и 25% соответственно. Следовательно, более предпочтительным для использования является кукурузный крахмал, образующий более устойчивые гели и пленки.

Помимо крахмала, в качестве основы также может быть использован поливиниловый спирт – водорастворимый полимер, широко используемый в медицине и пищевой промышленности в качестве эмульгатора [3]. Рассматриваемые полимеры в качестве основы для биоразлагаемых материалов имеют ряд преимуществ. С одной стороны, они обладают универсальными связывающими свойствами, способны к пленкообразованию, являются водорастворимыми и безопасными для организма человека, что обуславливает возможность широкого применения полученных на их основе нанокомпозитных материалов, а с другой стороны, данные полимеры могут выступать в качестве стабилизаторов наночастиц металлов.

В данной работе в качестве модификатора были использованы наночастицы серебра. Их получали методом прямого синтеза из раствора нитрата серебра в присутствии восстановителя (гидразина N_2H_4) и функционального полимера:

$$Ag^+ + N_2H_4 + 4OH^- = Ag^0 + N_2 + 4H_2O.$$

Стабилизация наночастиц серебра достигается путем инкапсулирования наночастицы в гидрофобное ядро полимера.

Предварительные испытания показывают, что материалы, полученные на основе гидрогеля из чистого крахмала хрупкие, негибкие, легко крошатся. Поэтому для улучшения качества получаемых материалов было принято решение в качестве матрицы использовать гидрогели на основе поливинилового спирта и крахмала.

Количественный состав, используемый для синтеза определенного биоматериала, указан в табл.1.

Также в разработке имеются методики получения полимерных пленок, модифицированных наночастицами. Данные методики

respectively. Consequently, maize starch, which forms more stable gels and films, is preferable for use.

In addition to starch, polyvinyl alcohol, a water-soluble polymer, is widely used in medicine and the food industry as an emulsifier and can also be used as the base [3]. The polymers under consideration as the basis for biodegradable materials have a number of advantages. On the one hand, they have universal binding properties, are capable of film formation, are water-soluble and safe for the human body, which makes it possible to widely use nanocomposite materials based on them, and on the other hand, these polymers can act as stabilizers of metal nanoparticles.

In this work silver nanoparticles were used as a modifier. They were obtained by direct synthesis from silver nitrate solution in the presence of a reducing agent (N_2H_4 hydrazine) and a functional polymer:

$$Ag^+ + N_2H_4 + 4OH^- = Ag^0 + N_2 + 4H_2O.$$

Stabilisation of silver nanoparticles is achieved by encapsulating a nanoparticle in a hydrophobic polymer core.

Preliminary tests show that the materials obtained from pure starch hydrogel are brittle, inflexible and easily crumbling. Therefore, in order to improve quality of the obtained materials it was decided to use hydrogels based on polyvinyl alcohol and starch as the matrix.

The quantitative composition used for synthesis of a particular biomaterial is shown in Table 1.

Techniques for production of polymer films modified with nanoparticles are also in progress of development. These techniques have been tested and repeatedly validated in practice. Depending on the base the biomaterials were synthesised from, they have been given names that correlated with their composition (Table 2).

RESULTS AND DISCUSSION

Since the obtained materials should theoretically be biodegradable, we studied the biodegradability of the polymers obtained. The biodegradability of the obtained materials was assessed using the burial test. When using this test, the rate of the material biodegradation is assessed by changes in their appearance after exposure to soil in given time intervals (2, 4, 6 and 12 months). In addition to the visual assessment of the samples, a check weighing was carried out using electronic analytical scales Vibra ensuring the accuracy of ±0.0001. The data obtained are shown in Table 3.

Таблица 1. Количественные соотношения исходных компонентов при получении биоразлагаемых материалов
Table 1. Quantitative ratios of the initial components for biodegradable materials

Количество исходного компонента на 100 г смеси Quantity of the initial component per 100 g of mixture	Обозначение материала Designation of the material					
	ПВС PVA	ПВС/ККар PVA/ PotStarch	ПВС/ККар/ Ag_{nano} PVA/ $PotStrach_{nano}$	ПВС/ККук PVA/ MaizeStarch	ПВС/ККук/ Ag_{nano} PVA/ MaizeStarch/ Ag_{nano}	ПВС/ККар/ ККук PVA/ PotStarch/ MaizeStarch
1	2	3	4	5	6	7
ПВС, г PVA, g	10	10	10	10	10	10
Крахмал картофельный, г Potato starch, g	–	5	3	–	–	2,5
Крахмал кукурузный, г Maize starch, g	–	–	–	5	3	2,5
Нитрат серебра, р-р 0,01 М, мл Silver nitrate, ml	–	–	0,02	–	0,02	0,02
Гидразин р-р 0,01 М, мл Hydrazine, ml	–	–	0,02	–	0,02	0,02
Вода, мл Water, ml	90	90	90	90	90	85

были апробированы и многократно проверены на практике. В зависимости от того, на основе чего синтезировались биоматериалы, им были присвоены названия с соотнесением состава (табл.2).

Hence, we can arrange the obtained biomaterials in order of their decomposition rate:
PVA/PotStarch/MaizeStrach
PVA/MaizeStarch/Ag_{nano} and PVA/MaizeStarch
PVA

Таблица 2. Типы синтезированных полимерных биоразлагаемых пленок
Table 2. Types of synthesised polymer biodegradable films

Обозначение Designation	ПВС PVA	Крахмал картофельный Potato starch	Крахмал кукурузный Maize starch	Нитрат серебра р-р 0,01 М Silver nitrate	Гидразин р-р 0,01 М Hydrazine
1	2	3	4	5	6
ПВС | PVA	+	–	–	–	–
ПВС/ККар PVA/PotStarch	+	+	–	–	–
ПВС/ККар/Ag_{nano} PVA/PotStarch/Ag_{nano}	+	+	–	+	+
ПВС/ККук PVA/MaizeStarch	+	–	+	–	–
ПВС/ККук/Ag_{nano} PVA/MaizeStach/Ag_{nano}	+	–	+	+	+
ПВС/ККар/ККук PVA/PotStarch/MaizeStarch	+	+	+	–	–

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку полученные материалы теоретически должны быть биоразлагаемыми, нами изучалась устойчивость полученных полимеров к биоразложению. Оценку биоразлагаемости полученных материалов проводили с помощью теста при закапывании в почву (Burial test). При использовании данного теста о скорости биодеструкции материалов судят по изменению их внешнего вида после воздействия почвы через заданные промежутки времени (2, 4, 6 и 12 месяцев). Помимо визуальной оценки образцов осуществлялось контрольное взвешивание. Контрольное взвешивание проводилось на электронных аналитических весах Vibrac точностью ±0,0001. Полученные данные отображены в табл.3.

Таким образом, полученные биоматериалы мы можем расположить в порядке изменения скорости их разложения:

ПВС/ККар/ККук

ПВС/ККук/Ag_{nano} и ПВС/ККук

ПВС.

Анализ полученных данных позволяет сделать выводы, что наименьшим сроком разложения обладают материалы, в состав которых входит крахмал, причем, чем больше содержание крахмала, тем меньше время разложения. Этим можно объяснить привлекательность крахмала в качестве пищи для деструкторов, обитающих в почве. Необходимо обратить внимание, что у материалов содержащих наночастицы серебра время разложения больше, чем у их аналогов без наночастиц. Данный факт можно объяснить антибактериальной и фунгицидной активностью рассматриваемых наночастиц [6, 7].

The analysis of the obtained data suggests that the materials containing starch have the shortest decomposition time - the higher the starch content, the shorter the decomposition time. This may explain attractiveness of starch as a food for soil-dwelling destructors. It should be noted that the materials containing silver nanoparticles have longer decomposition times than their counterparts without nanoparticles. This fact can be explained by the antibacterial and fungicidal activity of the considered nanoparticles [6, 7].

As silver nanoparticles have antibacterial properties, the study evaluated the antibacterial properties of the nanomaterials obtained on the bacteria belonging to the intestinal group (Escherichia coli). Petri dishes dia. 9.3, E. coli-rich water, Endo nutrient medium and 2.0 × 2.0 cm samples of degradable biomaterial were used for the study. Before biotesting, the dishes were thoroughly washed with a chromium mixture, followed by a baking soda solution and distilled water.

During the study, we prepared nutrient media and poured it into five Petri dishes. Intestinal bacteria isolated from drinking water were superficially inoculated into all five dishes. Petri dish number one was used as a standard, no material was placed in it, and the material to be analysed was placed in the centre of the other four Petri dishes:

№ 2 – PVA/MaizeStarch

№ 3 – PVA

№ 4 – PVA/MaizeStarch/Ag_{nano}

№ 5 – PVA/PotStarch/MaizeStarch

Таблица 3. Анализ времени и условий разложения полученных биоразлагаемых материалов

Table 3. Analysis of time and conditions for decomposition of the resulting biodegradable materials

Исследуемый материал (обозначения) Studied material (designations)	$m_{(исх)}$	Условия Conditions	г | g (2 месяца | months)	m, г | g (4 месяца | months)	г | g (6 месяцев | months)
1	2	3	4	5	6
ПВС/ККук PVA/ PotStarch	0,86	Влажная почва Wet soil	0,848	0,817	0,752
ПВС | PVA	0,74		0,739	0,73	0,70
ПВС/ККук/Ag_{nano} PVA/MaizeStarch/Ag_{nano}	0,93		0,919	0,886	0,872
ПВС/ККар/ККук PVA/PotStarch/MaizeStarch	0,91		0,909	0,904	0,896

Таблица 4. Исследование влияния наноструктированных материалов на хранимость хлеба
Table 4. Study of the effect of nanostructured materials on the bread storability

Продолжительность хранения в сутках Storage period, days	Внешний вид Appearance		Запах Smell		Появление и развитие плесени The emergence and development of mould	
	ПВС/ККук/ Ag_{nano} PVA/ MaizeStarch/ Ag_{nano}	ПВС/ККук PVA/ MaizeStarch	ПВС/ККук/ Ag_{nano} PVA/ MaizeStarch/ Ag_{nano}	ПВС/ККук PVA/ MaizeStarch	ПВС/ККук/ Ag_{nano} PVA/ MaizeStarch/ Ag_{nano}	ПВС/ККук PVA/ MaizeStarch
1	2	3	4	5	6	7
0	Поверхность гладкая, ровная, без крупных трещин и разрывов, светло-желтого цвета Surface smooth and falt even, without major cracks or tears, of light yellow colour	Поверхность гладкая, ровная, без крупных трещин и разрывов, светло-желтого цвета Surface smooth and falt even, without major cracks or tears, of light yellow colour	Приятный запах, свойственный данному виду изделий, без посторонних привкусов и запахов Pleasant smell, typical of the product, with no extraneous flavours or odours	Приятный запах, свойственный данному виду изделий без посторонних привкусов и запахов Pleasant smell, typical of the product, with no extraneous flavours or odours	Отсутствует Absent	Отсутствует Absent
1						
2						
3				Появился дополнительный кислый запах There is an additional sour odour		
4				Посторонний неприятный запах усилился An unpleasant odour has intensified		Появилась плесень на верхней части куска There is mould on the top of the piece
5		Поверхность гладкая, ровная, без крупных трещин и разрывов, светло-темно-желтого цвета Surface smooth and falt even, without major cracks or tears, of light-dark yellow colour	Появился дополнительный неприятный кислый запах There is an additional sour odour	К кислому запаху добавился запах плесени To the sour smell was added the smell of mould		Идет активное разрастание плесени по всей поверхности хлеба Mould is actively growing all over the surface of the bread
6		Поверхность гладкая, ровная, без крупных трещин и разрывов, желто-коричневого цвета Surface smooth and falt even, without major cracks or tears, of yellow-brown colour	К кислому запаху добавился запах плесени To the sour smell was added the smell of mould	Сильный неприятный запах плесени Strong, unpleasant musty smell	Появилась плесень в нижней части (удаленной от материала) куска Mould has appeared on the underside (away from the material) of the piece	Плесень существенно увеличилась в размере, светлого цвета The mould has grown significantly in size and is light in colour
7	Поверхность гладкая, ровная, без крупных трещин и разрывов, темно-желтого цвета Surface smooth, even, without major cracks or tears, dark yellow colour	Поверхность гладкая, ровная, без крупных трещин и разрывов, коричневого цвета Surface smooth, even, without major cracks or tears, of brown colour	Сильный неприятный запах плесени Strong, unpleasant musty smell		Плесень находится в угнетенном состоянии и ее развитие незначите-льно Moulds are in a depressed state and their development is negligible	Кусок хлеба полностью поражен плесневым грибом A slice of bread is completely infested with a mould fungus

Поскольку наночастицы серебра обладают антибактериальными свойствами, в рамках исследования была проведена оценка антибактериальных свойств полученных наноматериалов на бактериях, относящихся к кишечной группе (Escherichia coli). Для исследования использовались чашки Петри диаметром 9,3 см, вода с повышенным содержанием кишечной палочки, питательная среда Эндо, образцы разлагаемых биоматериалов 2,0×2,0 см. Перед проведением биотестирования посуда тщательно промывалась хромовой смесью, затем раствором пищевой соды и дистиллированной водой.

В ходе исследования нами была приготовлена питательная среда и разлита в пять чашек Петри. Во все пять чашек поверхностным способом был произведен посев бактерий кишечной группы, выделенных из питьевой воды. Чашка Петри под номером один использовалась в качестве стандарта, в нее никакой материал не помещался, в центр остальных четырех чашек Петри помещался анализируемый материал:

№ 2 – ПВС/ККук

№ 3 – ПВС

№ 4 – ПВС/ККук/Ag_{nano}

№ 5 – ПВС/ККар/ККук.

Рост бактерий продолжался в течение суток при комнатной температуре. Проведенное исследование показывает, что зона лизиса наблюдалась только в чашке Петри с образцом с наночастицами серебра (ПВС/ККук/Ag_{nano}). Во всех остальных образцах наблюдался равномерный рост кишечной палочки. Отсюда мы можем сделать выводы, что разработанный наноматериал обладает антибактериальной активностью.

Интерес представляет исследование влияния разработанных материалов на сохранность пищевых продуктов. Объектом исследований был выбран хлеб пшеничный. Для этого в чашки Петри помещались кусочки белого хлеба одинаковой массы и создавались благоприятные условия для развития плесневого гриба Мукор (Mucor). Для сравнения были выбраны материалы с идентичным составом полимерной матрицы, но при этом один образец содержал наночастицы серебра, а другой нет (ПВС/ККук и ПВС/ККук/Ag_{nano}). На образцы хлеба были положены экспериментальные материалы. Длительность эксперимента составила семь дней. Полученные результаты отражены в табл.4.

Анализ полученных результатов показывает, что во всех чашках Петри, кроме чашки Петри под № 4, произошло полное зарастании хлеба плесневым грибом Мукор, а в чашках Петри

Bacterial growth continued for 24 hours at room temperature. The study shows that a lysis zone was only observed in the Petri dish with the silver nanoparticle sample (PVA/MaizeStarch/Ag_{nano}). In all other samples uniform growth of E. coli was observed. We conclude that the developed nanomaterial has antibacterial activity.

It is interesting to study the effect of the developed materials on preservation of foodstuffs. Wheat bread was chosen as the object of research. For this purpose, pieces of white bread of equal weight were placed in Petri dishes and favourable conditions were created for the development of Mucor (Mucor) fungus. Materials with an identical polymer matrix composition were selected for comparison, but one sample contained silver nanoparticles and the other did not (PVA/MaizeStarch and PVA/MaizeStarch/Ag_{nano}). Experimental materials were placed on the bread samples. The experiment lasted for seven days. The obtained results are shown in Table 4.

Analysis of the obtained results shows that in all Petri dishes, except for Petri dish No. 4, there was a complete overgrowth of the Mucor mould fungus, and in Petri dishes with PVA/MaizeStarch/Ag_{nano} material, the fungus overgrowth occurred only in the lower part where there was no composite material.

CONCLUSIONS

Thus, the analysis of the current environmental situation calls for active use of renewable resources and materials that cause the least damage to the environment, which include biodegradable composites. The study revealed that the effectiveness of these composites can be significantly improved by modifying them. Silver nanoparticles are among the most effective modifying agents. The effectiveness of their use is due to improvement of antibacterial and fungicidal properties of biodegradable materials and it is necessary to consider the effect of the concentration of these particles in the material upon the increase of the decomposition time of the obtained materials.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU. ■

Declaration of Competing Interest. *The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.*

с материалом ПВС/ККук/Ag_{nano} зарастание грибом произошло только в нижней части, где не было композитного материала.

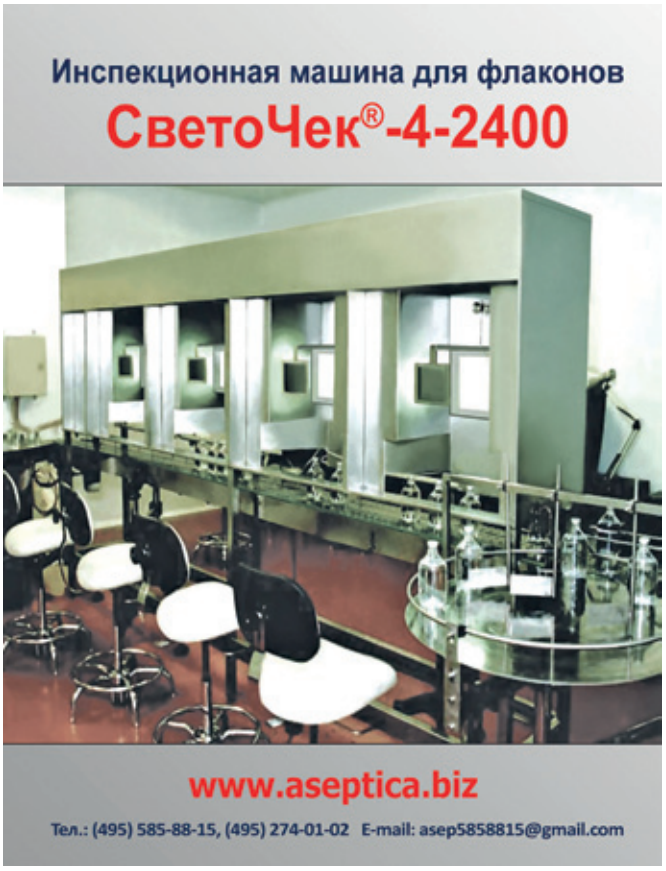
ВЫВОДЫ

Таким образом, анализ современной экологической ситуации требует активного использования возобновляемых ресурсов и материалов, наносящих наименьший ущерб окружающей среде, к которым относятся и биоразлагаемые композиты. В рамках исследования было выявлено, что эффективность данных композитов может быть существенно повышена путем их модификации. Наночастицы серебра являются одними из наиболее эффективных модифицирующих агентов. Эффективность их применения обусловлена повышением антибактериальных и фунгицидных свойств биоразлагаемых материалов, при этом необходимо учитывать влияние концентрации данных частиц в материале на увеличение сроков разложения полученных материалов.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Электронный ресурс: **Hemwey R.** Environmental impacts of coronavirus crisis, challenges ahead: report. https://unctad.org/news/environmental-impacts-coronavirus-crisis-challenges-ahead.
2. **Белых Д.А., Касьянов В.К., Шагова Д.О., Аверина Ю.М.** Использование биоразлагаемых материалов как ресурса при упаковке и хранении готовой продукции. Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук: Сборник научных статей итогового международного круглого стола, Казань, 28–30 декабря 2018 года. Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2018. С. 24–26.
3. **Литвяк В.В.** Перспективы производства современных упаковочных материалов с применением биоразлагаемых полимерных композиций. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 2. С. 84–94.
4. **Маслова А.Ю., Лютова А.А., Варваров В.А.** Оценка свойств новых биоразлагаемых полимерных материалов на основе ПВХ с добавками пектина и крахмала. Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2019. № 13. С. 275–278.
5. **Попов А.А., Зыкова А.К., Масталыгина Е.Е.** Биоразлагаемые композиционные материалы (Обзор). Химическая физика. 2020. Т. 39. № 6. С. 71–80. https://doi.org/10.31857/S0207401X20060096
6. **Фарус О.А.** Получение и сравнительный анализ свойств полимерных наноструктурированных пленок на основе различных органических полимеров и наночастиц серебра. Композиты и наноструктуры. 2019. Т. 11. № 3 (43). С. 125–129.
7. **Фарус О.А., Игнатьева К.Н.** Перспективы использования волокнистых нанокомпозитных материалов для очистки воды в закрытых системах. Экологическая химия. 2018. Т. 27. № 6. С. 301–308.

Декларация о конфликте интересов. *Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.*