

## Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта

Любовь Н.Студеникина <sup>1</sup>	<a href="mailto:lubov-churkina@ya.ru">lubov-churkina@ya.ru</a>	 0000-0001-6613-4974
Светлана Ю. Домарева <sup>1</sup>	<a href="mailto:domarevasveta@gmail.com">domarevasveta@gmail.com</a>	 0000-0003-0524-8948
Юлия Е. Голенских <sup>1</sup>	<a href="mailto:yu.golenskih@ya.ru">yu.golenskih@ya.ru</a>	 0000-0002-0151-3479
Анна В. Матвеева <sup>1</sup>	<a href="mailto:super-friks2016@yandex.ru">super-friks2016@yandex.ru</a>	 0000-0002-8410-8275

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Композиты на основе поливинилового спирта (ПВС) и полисахаридов (ПС) имеют значительный потенциал для применения в качестве компостируемых упаковочных материалов, а также в различных областях растениеводства. ПВС выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой (ММ) и остаточным содержанием винилацетатных (ВА) групп, и как следствие - степенью гидролиза. В зависимости от марки ПВС и природы наполнителя такие свойства композитов на их основе, как водостойкость, прочность, степень биоконверсии и т.д. будут существенно различаться. Цель работы: комплексная оценка свойств высоконаполненных композитов на основе ПВС различных марок, отличающихся степенью гидролиза, и полисахаридов. Объекты исследования: композиты, полученные с помощью прямого совмещения 5%-го раствора ПВС (марок 1799, ВС-05, ВР-05, KurarayPoval 3-83) и порошка ПС (древесной микроцеллюлозы - МЦД, кукурузного нативного крахмала - КК), с добавлением и без добавления пластификатора (П) - глицерина, с последующим обезвоживанием на воздухе либо в вакуум-сушильном шкафу. Исходя из наличия внешних дефектов после обезвоживания и прочностных показателей материала было установлено, что для ПВС-1799 возможно достичь степени наполнения 80 об.%, а для ПВС ВР-05, ВС-05 и KurarayPoval 3-83 - не более 50 об.% без пластификатора и до 70 об.% в присутствии пластификатора. Отмечено, что при наполнении ПВС крахмалом до 50 об.% обезвоженные композиты являются прозрачными или полупрозрачными, что дает им дополнительные преимущества в качестве упаковочных материалов (в т.ч. пленочных). Для композитов на основе ПВС-1799 установлено, что максимальное водопоглощение (250% масс.), имеет ПВС, наполненный МЦД (20:80 об.%), причем введение пластификатора (5 об.%) существенно снижает степень водопоглощения (до 150% масс.), что не характерно для данной марки ПВС, наполненного КК (водопоглощение составило около 50 % масс. с пластификатором и без). Композиты на основе ПВС марок ВС-05, ВР-05, KurarayPoval 3-83 растворяются в воде при комнатной температуре за 5-10 минут. При предварительной оценке биодegradации исследуемых композитов на основе ПВС-1799 установлено, что в полимерной матрице при микроскопировании после 6 месяцев компостирования и почвенного теста наблюдались микротрещины и участки с иммобилизованной микробиотой, однако, значительных разрушений целостности полимера данной марки за указанный период компостирования не произошло, что подчеркивает сложный характер биодegradации ПВС с высокой ММ и низким содержанием ВА-групп.

**Ключевые слова:** композит, поливиниловый спирт, полисахарид, микроцеллюлоза, крахмал, компостируемый пластик

## Features of high-filled composites based on various brands of polyvinyl alcohol

Lyubov N. Studenikina <sup>1</sup>	<a href="mailto:lubov-churkina@ya.ru">lubov-churkina@ya.ru</a>	 0000-0001-6613-4974
Svetlana Yu. Domareva <sup>1</sup>	<a href="mailto:domarevasveta@gmail.com">domarevasveta@gmail.com</a>	 0000-0003-0524-8948
Yulia E. Golenskih <sup>1</sup>	<a href="mailto:yu.golenskih@ya.ru">yu.golenskih@ya.ru</a>	 0000-0002-0151-3479
Anna V. Matveeva <sup>1</sup>	<a href="mailto:super-friks2016@yandex.ru">super-friks2016@yandex.ru</a>	 0000-0002-8410-8275

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Composites based on polyvinyl alcohol (PVA) and polysaccharides (PS) have significant potential for use as compostable packaging materials, as well as in various fields of crop production. PVA are produced by the industry of various brands that differ in molecular weight (MM) and the residual content of vinyl acetate (VA) groups, and as a result - the degree of hydrolysis. Depending on the brand of PVA and the nature of the filler, such properties of composites based on them as water resistance, strength, degree of bioconversion, etc. will differ significantly. The purpose of the work: a comprehensive assessment of the properties of high-filled composites based on PVA of various brands, differing in the degree of hydrolysis, and polysaccharides. Objects of research: composites obtained by direct combination of a 5% solution of PVA (grades 1799, VS-05, BP-05, KurarayPoval 3-83) and PS powder (wood microcellulose - MCD, corn native starch - KK), with and without the addition of a plasticizer (P) - glycerin, followed by dehydration in air or in a vacuum drying cabinet. Based on the presence of external defects after dehydration and the strength characteristics of the material, it was found that for PVA-1799 it is possible to achieve a filling degree of 80 vol.%, for a PVA BP-05, VS-05 KurarayPoval and 3-83 no more than 50 vol.% without plasticizer and up to 70 vol.% in the presence of a plasticizer. It is noted that when filling PVA with starch up to 50 vol.% dehydrated composites are transparent or semi-transparent, which gives them additional advantages as packaging materials (including film). For composites based on PVA-1799, it was found that the maximum water absorption (250% by weight) has a PVA filled with MCD (20: 80 vol.%), and the introduction of a plasticizer (5 vol.%) significantly reduces the degree of water absorption (up to 150% by weight), which is not typical for this brand of PVA filled with CC (water absorption was about 50% by weight with and without plasticizer). Composites based on PVA grades VS-05, BP-05, KurarayPoval 3-83 dissolve in water at room temperature for 5-10 minutes. During the preliminary assessment of the biodegradation of the studied PVA-1799 composites, it was found that micro-cracks and areas with immobilized microbiota were observed in the polymer matrix during microscopy after 6 months of composting and soil testing, however, no significant damage to the integrity of the polymer of this brand occurred during the specified composting period, which emphasizes the complex nature of the biodegradation of PVA with high MM and low content of VA groups.

**Keywords:** composite, polyvinyl alcohol, polysaccharide, microcellulose, starch, compostable plastic

### Введение

При существующих темпах роста объемов твердых коммунальных отходов (ТКО), составляющих 1–2% в год, в 32 регионах РФ мощности

полигонов для размещения отходов будут исчерпаны до 2024 года, а в 17 – до 2022 года [1]. Несмотря на начатую в 2019 году реформу обращения с ТКО, ситуация в этой сфере пока

Для цитирования

Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 316–322. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322

For citation

Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskih Yu.E., Matveeva A.V. Features of high-filled composites based on various brands of polyvinyl alcohol. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 316–322. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

оастается неблагоприятной: уровень переработки отходов не превышает 7%, а более 90% по-прежнему направляется на полигоны и свалки, которые часто не отвечают требованиям природоохранного законодательства.

Значительная часть ТКО – это органические (пищевые, растительные) отходы, которые можно утилизировать в полезные продукты (компосты, почвогрунты и пр.) методами компостирования, а также различные упаковочные материалы, большинство из которых может подвергаться вторпереработке. Но, к сожалению, для значительной доли пластиковых отходов вторпереработка является слаболиквидной, и в этой связи целесообразно заменить такие пластики на биоразлагаемые (компостируемые) аналоги [2].

Биопластики (биополимеры) – это обобщающее название нескольких видов материалов, среди которых различают биоосновные полимеры (bio-based plastic, т. е. полученные на основе биологического сырья) и биоразлагаемые/компостируемые полимеры (biodegradable plastic, т. е. подвергаемые биораспаду по окончании жизненного цикла). Следует отметить, что биоосновные пластики не всегда поддаются биологическому разложению, а компостируемые пластики не обязательно изготавливаются из биологического сырья (например, компостируемый пластик РВАТ делают из нефтепродуктов).

Технологии получения биоразлагаемых пластиков (БРП) развиваются уже более 20 лет. Однако, такие БРП, как полилактид (PLA), полигидроксibuтират (PGB) и прочие продукты микробиологического синтеза, а также сшитые природные полимеры, до сих пор не получили массового распространения из-за высокой стоимости, сложности получения, отсутствия производства на территории РФ, специфических свойств. Оксоразлагаемые пластмассы хоть и являются возможным решением проблемы пластикового мусора, но до сих пор не ясны механизмы их конечной биодеградации, а также известно, при их деструкции могут выделяться токсичные вещества, в частности, формальдегид [3].

Чтобы достичь полного рыночного потенциала, БРП должны обладать большей функциональностью и производительностью, авторы [4] прогнозируют, что в дальнейшем развитии рынка решающую роль будет играть разработка новых продуктов и улучшение свойств ранее разработанных.

В последнее время активно развиваются исследования в области разработки технологий получения композитных БРП, включающих различные полимерные матрицы синтетического происхождения, подвергаемые гидролитической или ферментативной деструкции, и наполнители для удешевления и придания необходимых свойств материалу.

Поливиниловый спирт (ПВС) – один из немногих синтетических термопластов, способный к биоразложению, он вдвое дешевле БРП, полученных микробиологическим синтезом, производится в РФ и включен в перечень биоразлагаемых пластиков по ГОСТ Р 57432–2017. Однако стоимость ПВС вдвое превышает стоимость распространенных упаковочных полиолефинов (полиэтилена, полипропилена и др.), а его низкая водо- и атмосферостойкость ограничивают спектр применения. Поэтому актуальным является вопрос модификации ПВС различными наполнителями для снижения стоимости и улучшения потребительских свойств.

ПВС (рисунок 1) выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой (ММ) и остаточным содержанием винилацетатных (ВА) групп, и как следствие – степенью гидролиза.

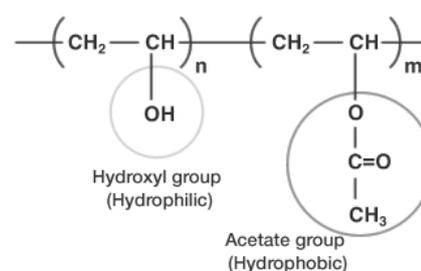


Рисунок 1. Химическое строение ПВС

Figure 1. Chemical structure of PVA

Содержание остаточных ВА-звеньев в пределах 1,0–1,5 масс. % практически не отражается на химических и физико-химических свойствах ПВС, эффект их влияния в практическом аспекте ощущается, начиная, примерно, с 4,0–5,0 масс.%. Поливиниловый спирт, содержащий 8–10% остаточных ацетатных групп, уже растворяется в воде при комнатной температуре.

Перспективность применения композитов на основе ПВС и полисахаридов (ПС) в качестве БРП отмечают отечественные и зарубежные исследователи [5–11]. В качестве наполнителей могут применяться любые полисахариды и их смеси, удовлетворяющие технологическим и потребительским требованиям [12]. С технико-экономической точки зрения целесообразно использовать целлюлозу и крахмал.

Использование микроцеллюлозы с размером частиц до 200 мкм в полимерных композициях в сравнении с порошковой целлюлозой, размер частиц которой достигает 2000 мкм, имеет ряд преимуществ: получение изделий с высокими прочностными показателями; изготовление тонкостенных изделий и материалов; формование композиций с высоким содержанием полисахаридов и др. [13].

Композиты на основе ПВС и ПС можно получать методом жидкофазного наполнения, что обеспечит равномерное распределение наполнителя в матрице и позволит избежать термомеханической деструкции полисахаридов, однако, такая технология требует дальнейшего обезвоживания материала. В научно-технических источниках крайне недостаточно информации о промышленно применимых способах обезвоживания таких композитов и влиянии технологических параметров процесса на свойства получаемых материалов.

Также известно, что биодegradация ПВС в естественных условиях окружающей среды носит сложный характер, и до настоящего времени установлены далеко не все закономерности влияния биотических и абиотических факторов среды на биоконверсию ПВС с различной степенью полимеризации, различным содержанием ацетатных групп и др., что требует комплексного исследования эффективности биодegradации композитов на основе ПВС и определения условий, сроков и продуктов их деструкции.

Что касается области применения, то следует понимать, что БРП на основе водорастворимых матриц обладают низкой влагостойкостью, поэтому целесообразно их внедрение в такие сегменты, как упаковка сухих и замороженных продуктов продовольственного или непродовольственного назначения. Кроме того, применение компостируемых материалов с регулируемым сроком биодegradации целесообразно не только в индустрии упаковки, но и имеет значительный потенциал в области растениеводства (матрицы удобрений пролонгированного действия, защитные оболочки семян, биоразлагаемые контейнеры пересадки растений и проч.).

**Цель работы** – комплексная оценка свойств высоконаполненных композитов, полученных по технологии жидкофазного совмещения, на основе ПВС различных марок, отличающихся степенью гидролиза, и полисахаридов.

#### Материалы и методы

Объекты исследования: композиты, полученные с помощью прямого совмещения 5%-го раствора ПВС (марок 1799, ВС-05, ВР-05, KurarayPoval 3–83) и порошка ПС (древесной микроцеллюлозы – МЦД, кукурузного нативного крахмала – КК), с добавлением и без добавления пластификатора (П) – глицерина, с последующим обезвоживанием на воздухе либо в вакуум-сушильном шкафу.

Методы исследования: дефектообразование при обезвоживании оценивали визуально по наличию трещин, расслоений, деформаций формы и проч., прочностные показатели оценивали по ГОСТ 11262–2017 с помощью разрывной машины

PM-50 с программным обеспечением StretchTest, водопоглощение оценивали по ГОСТ 4650–2014.

ПВС марки 1799 имеет высокую ММ (вязкость 24–26 мПа·с) и низкое содержание ВА – групп (не более 1,0 масс.%), он не растворяется в холодной воде и является одной из наиболее дешевых марок ПВС. Это делает его привлекательным не только с экономической точки зрения, а также обеспечивает некоторые преимущества потребительских свойств (прочность, лучшая водостойкость и др.), но, однако, может ингибировать его биодegradацию.

ПВС марок ВР-05, ВС-05, KurarayPoval 3–83, напротив, имеют низкую ММ (вязкость 5–6 мПа·с) и способны достаточно быстро растворяться в холодной воде. Это может несколько ограничивать область применения, однако позволяет прогнозировать полную биоконверсию при компостировании.

#### Результаты

На первом этапе исследования определяли максимально возможную степень наполнения ПВС полисахаридами. Исходя из наличия внешних дефектов после обезвоживания и прочностных показателей материала было установлено, что для ПВС 1799 возможно достичь степени наполнения 80 об.%, а для ПВС ВР-05, ВС-05 и KurarayPoval 3–83 – не более 50 об.% без пластификатора и до 70 об.% в присутствии пластификатора. Отмечено, что при наполнении ПВС крахмалом до 50 об.% обезвоженные композиты являются прозрачными или полупрозрачными, что дает им дополнительные преимущества в качестве упаковочных материалов (в т. ч. пленочных).

На рисунке 2 показаны примеры дефектообразования при получении высоконаполненных композитов на основе ПВС и ПС (крахмала).

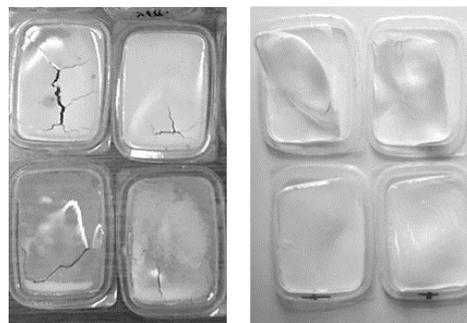


Рисунок 2. Примеры дефектообразования при получении высоконаполненных композитов на основе ПВС и ПС (растрескивание, деформация формы)

Figure 2. Examples of defect formation in the production of high-filled composites based on PVA and PS (cracking, deformation of the shape)

Для композитов на основе ПВС-1799 определяли степень водопоглощения и изменение прочности при влагонасыщении (для БРП на основе ПВС с высоким содержанием ВА-групп такая оценка невозможна ввиду растворимости материала в холодной воде).

На рисунке 3 представлена динамика водопоглощения для композитов, отличающихся природой наполнителя и наличием пластификатора. Видно, что максимальное водопоглощение имеет ПВС, наполненный МЦД, причем введение пластификатора существенно снижает степень водопоглощения, что не характерно для ПВС, наполненного КК.

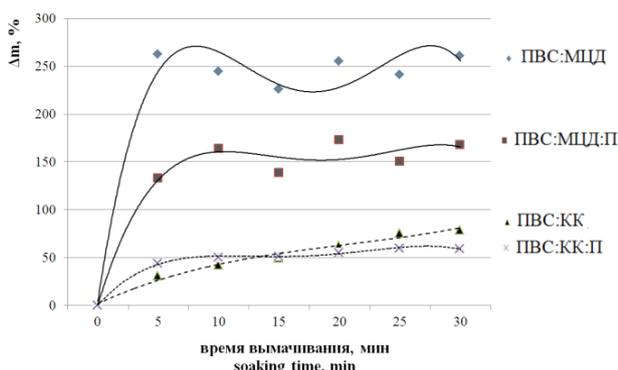


Рисунок 3. Динамика водопоглощения композитов ПВС: ПС (20:80 об.%) и ПВС: ПС:П (20:75:5 об.%)

Figure 3. Dynamics of water absorption of composites PVS: PS (20: 80 vol.%) and PVA:PS:P (20: 75: 5 vol.%)

На рисунке 4. показана кратность снижения прочности при разрыве и кратность повышения удлинения при разрыве для образцов ПВС(1799): ПС: П, 20:75:5 об.%, после экспозиции в воде в течении 1 часа. Через час вымачивания у композита ПВС: МЦД:П резко снизилась прочность и незначительно повысилось удлинение при разрыве, а у композита ПВС: КК:П, напротив, значительно возросло удлинение при незначительной потере прочности, что говорит о взаимодействии компонентов крахмалонаполненного композита в водной среде.

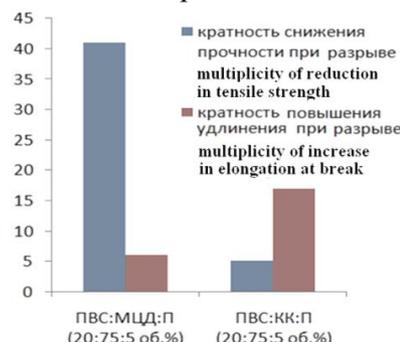


Рисунок 4. Кратность изменения прочностных показателей композита ПВС: ПС:П (20:75:5 об.%) через 1 час экспозиции в воде

Figure 4. Multiplicity of changes in the strength parameters of the composite "PVA:PS:P" (20: 75: 5 vol.%) after 1 hour of exposure in water

Прочностные показатели исследуемых композитов отражены в таблице 1.

Прочностные показатели высоконаполненных ПВС различных марок в зависимости от природы полисахарида

Таблица 1.

Table 1.

Strength characteristics of high-filled PVS of various grades, depending on the nature of the polysaccharide

Показатель Indicator	Значения показателей в зависимости от состава композита Values of indicators depending on the composition of the composite					
	ПВС (1799):ПС: ПЛ (20:75:5 об.%)		ПВС(ВР-05): ПС: ПЛ (50:45:5 об.%)		ПВС(ВС-05): ПС: ПЛ (50:45:5 об.%)	
	МЦ	КК	МЦ	КК	МЦ	КК
Прочность при разрыве, Мпа   Tensile strength, MPa	3,2	2,1	0,38	0,73	0,64	0,43
Относительное удлинение, %   Relative elongation, %	6,7	9,8	12,7	5,2	20,5	60,1

Хотя процессы биодegradации протекают в водной среде, однако, высокие значения способности материала к сорбции воды и диффузии водяного пара не гарантируют высокой скорости биодegradации [14]. В исследованиях [15] отмечено, что ПВС с высокой синдиотактичностью (s-PVA) может быть не восприимчив к биодegradации, в отличие от атактического (a-PVA) и изотактического (i-PVA), которые теряют до 60% массы в первые 12 суток биологического воздействия.

Биодegradация полимеров зависит от внешних и внутренних факторов (биотические и абиотические факторы среды, состав и структура

полимера или композита). Природные биохимические среды отличаются друг от друга как биотическими (состав биоценоза), так и абиотическими (температура, влажность, химический состав и т. д.) параметрами. Установление характера поведения композитов на основе ПВС в различных биосредах (в первую очередь, таких как почва и компост), позволит оптимизировать условия их утилизации.

Биодegradация ПВС изучалась в работах [16-20]. Известно, что наибольшую роль в микробной атаке на полимеры в окружающей среде играют бактерии *Cytophaga*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Micobacterium*, *Pseudomonas*,

мицелиальные грибы и дрожжи *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Trichoderma*, и ряд других. В работе [16] установлено, что биодеструкция ПВС осуществляется с помощью ферментов ПВА-оксидазы и алкогольдегидрогеназы, однако бактерия, продуцирующая необходимый фермент (бактерия *Sphingomonas*, выделенная из активного ила) требует определенных факторов роста и симбиотического взаимодействия с другими представителями биоценоза, что не всегда осуществимо на практике.

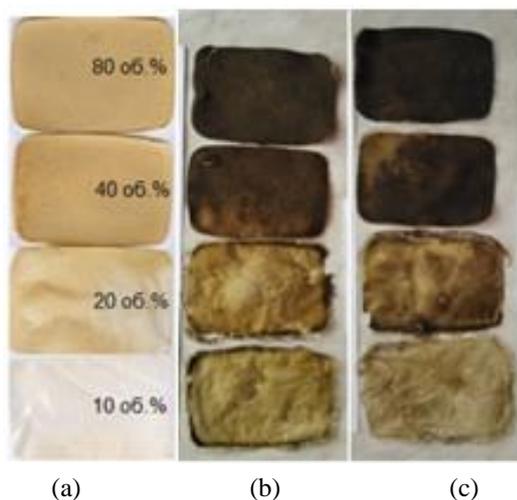


Рисунок 5. Образцы бинарных композитов ПВС (1799): МЦ с различной степенью наполнения: (а) начальные, (б) через 3 месяца инкубации в компосте, (с) через 3 месяца инкубации в черноземе

Figure 5. Samples of binary composites PVA(1799): MC with different degrees of filling : (a) initial, (b) after 3 months of incubation in compost, (c) after 3 months of incubation in chernozem

При предварительной оценке биодegradации исследуемых композитов установлено, что в полимерной матрице ПВС-1799 при микроскопировании после 6 месяцев компостирования и почвенного теста наблюдались микротрещины и участки с иммобилизованной микробиотой, однако, значительных разрушений целостности полимера данной марки за указанный период компостирования не произошло (рисунок 5). Это подчеркивает сложный характер биодegradации ПВС с высокой молекулярной массой и низким содержанием остаточных ацетатных групп в окружающей среде и требует дополнительных исследований для установления условий и сроков компостирования композитов на его основе.

### Заключение

Установлено, что ММ и содержание остаточных ВА-групп в составе ПВС различных марок влияет не только на эффективность гидролиза самой полимерной матрицы, но также лимитирует степень наполнения композита, скорость его биодegradации, определяет прочностные свойства материалов.

ПВС с низким содержанием ВА-групп (не более 1,0 масс.%) обладают хорошей водостойкостью и прочностью, но, однако, имеют сложный характер биодegradации.

ПВС с высоким содержанием ВА-групп способны достаточно быстро растворяться в холодной воде, что несколько ограничивает область их применения, однако позволяет прогнозировать полную биоконверсию при компостировании.

### Литература

- 1 Бюллетень Счетной палаты № 9 (274) 2020 г. URL: <https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-9-274-2020-g>
- 2 Пророкова Н.П. Проблемы биоразлагаемых полимеров. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (smartex). 2013. №1. С.47-54.
- 3 Протасов А.В., Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Ахматова Н.Г. и др. Оценка деструкции модифицированного прооксидантами полиэтилена в контексте экобезопасности // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 352–357. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-352-357
- 4 Просеков А.Ю., Кригер О.В., Миленцева И.С., Бабич О.О. Основы биотехнологии. Изд-во: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2015. 214 с.
- 5 Begum M.H.A., Hossain M.M., Gafur M.A. et al. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol–starch composites reinforced with pulp // SN Applied Sciences. 2019. V. 1. №. 9. P. 1-9. doi: 10.1007/s42452-019-1111-2
- 6 Guo B., Zha D., Li B., Yin P. et al. Polyvinyl alcohol microspheres reinforced thermoplastic starch composites // Materials. 2018. V. 11. №. 4. P. 640–643. doi: 10.3390/ma11040640
- 7 Qiu K., Netravail A.N. Polyvinyl alcohol based biodegradable polymer nano-composites, biodegradable polymers. New York: Nova Science Publishers Inc., 2015. P 325–379.
- 8 Singha A.S., Singh A., Priya B., Pathania D. Cornstarch/poly (vinyl alcohol) biocomposite blend films: Mechanical properties, thermal behavior, fire retardancy, and antibacterial activity // International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2015. V. 20. № 4. P. 357-366.
- 9 Папкина В.Ю., Малинкина О.Н., Шиповская А.Б., Гребенюк Л.В. и др. Свойства, деградация в почвогрунте и фитотоксичность композитов крахмала с поливиниловым спиртом // Изв. Сарат. ун-та. Нов.сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. № 1. С. 25–35. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-25-35

- 10 Павленок А.В., Давыдова О.В., Дробышевская Н.Е. и др. Получение и свойства биоразлагаемых композиционных материалов на основе поливинилового спирта и крахмала // Вестник ГТТУ им. П. О. Сухого. 2018. №1. С. 38-46.
- 11 Aydin A.A., Ilberg V. Effect of different polyol-based plasticizers on thermal properties of polyvinyl alcohol : starch blends // Carbohydr. Polym. 2016. V. 136. P. 441–448. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.093
- 12 Литвяк В.В. Перспективы производства современных упаковочных материалов с применением биоразлагаемых полимерных композиций // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 2. С. 84-94.
- 13 Корчагин В.И., Студеникина Л.Н., Шелкунова М.В. Реологическое поведение бинарной полимерной композиции // Пластические массы. 2019. № 9–10. С. 52–55. doi: 10.35164/0554-2901-2019-9-10-52-55
- 14 Shtilman M.I. Biodegradation of polymers // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2015. V. 8. № 2. P. 113.
- 15 Dorigato A., Pegoretti A. Biodegradable single-polymer composites from polyvinyl alcohol // Colloid and Polymer science. 2012. V. 290. № 4. P. 359-370. doi: 10.1007/s00396-011-2556-z
- 16 Guzman-Puyol S., Ceseracciu L., Heredia-Guerrero J.A., Anyfantis G.C. et al. Effect of trifluoroacetic acid on the properties of polyvinyl alcohol and polyvinyl alcohol–cellulose composites // Chemical Engineering Journal. 2015. V. 277. P. 242-251. doi: 10.1016/j.cej.2015.04.092
- 17 Li W., Yue J., Liu S. Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly (vinyl alcohol) composites // Ultrasonics sonochemistry. 2012. V. 19. № 3. P. 479-485. doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.11.007
- 18 Sabaa M.W., Abdallah H.M., Mohamed N.A., Mohamed R.R. Synthesis, characterization and application of biodegradable crosslinked carboxymethyl chitosan/poly (vinyl alcohol) clay nanocomposites // Materials Science and Engineering: C. 2015. V. 56. P. 363-373. doi: 10.1016/j.msec.2015.06.043
- 19 Sha D., Yang X., Wang B., Liu X. et al. Surface Grafting of a Quaternary Ammonium Salt on Macroporous Polyvinyl Alcohol-Formaldehyde Sponges and Their Highly Efficient Antibacterial Performance // ACS Applied Polymer Materials. 2020. V. 2. № 11. P. 4936-4942. doi: 10.1021/acsapm.0c00822
- 20 Kayaci F., Uyar T. Encapsulation of vanillin/cyclodextrin inclusion complex in electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanoweb: Prolonged shelf-life and high temperature stability of vanillin // Food chemistry. 2012. V. 133. № 3. P. 641-649. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.01.040

#### References

- 1 Bulletin of the Accounts Chamber No. 9 (274) 2020. Available at: <https://ach.gov.ru/statements/byulleten-schetnoy-palaty-9-274-2020-g> (in Russian).
- 2 Prorokova N.P. Problems of biodegradable polymers. Physics of fibrous materials: structure, properties, high technology and materials (smartex). 2013. no. 1. pp. 47-54. (in Russian).
- 3 Protasov A.V., Studenikina L.N., Korchagin V.I., Akhmatova N.G. Evaluation of the destruction of polyethylene modified with prooxidants in the context of environmental safety. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 352–357. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-352-357 (in Russian).
- 4 Prosekov A.Yu., Kriger O.V., Milenteva I.S., Babich O.O. Fundamentals of Biotechnology. Publishing house: Kemerovo Technological Institute of Food Industry, 2015. 214 p. (in Russian).
- 5 Begum M.H.A., Hossain M.M., Gafur M.A. et al. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol–starch composites reinforced with pulp. SN Applied Sciences. 2019. vol. 1. no. 9. pp. 1-9. doi: 10.1007/s42452-019-1111-2
- 6 Guo B., Zha D., Li B., Yin P. et al. Polyvinyl alcohol microspheres reinforced thermoplastic starch composites. Materials. 2018. vol. 11. no. 4. pp. 640–643. doi: 10.3390/ma11040640
- 7 Qiu K., Netravail A.N. Polyvinyl alcohol based biodegradable polymer nano-composites, biodegradable polymers. New York, Nova Science Publishers Inc., 2015. pp. 325–379.
- 8 Singha A.S., Singh A., Priya B., Pathania D. Cornstarch/poly (vinyl alcohol) biocomposite blend films: Mechanical properties, thermal behavior, fire retardancy, and antibacterial activity. International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2015. vol. 20. no. 4. pp. 357-366.
- 9 Papkina V.Yu., Malinkina O.N., Shipovskaya A.B., Grebenyuk L.V. et al. Properties, degradation in soil and phytotoxicity of starch composites with polyvinyl alcohol. Izv. Sarat. un-that. New ser. Ser. Chemistry. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 25–35. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-25-35 (in Russian).
- 10 Pavlenok A.V., Davydova O.V., Drobyshevskaya N.E. et al. Obtaining and properties of biodegradable composite materials based on polyvinyl alcohol and starch. Bulletin of GSTU im. P.O. Sukhoi. 2018. no. 1. pp. 38-46. (in Russian).
- 11 Aydin A.A., Ilberg V. Effect of different polyol-based plasticizers on thermal properties of polyvinyl alcohol: starch blends. Carbohydr. Polym. 2016. vol. 136. pp. 441–448. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.093
- 12 Litvyak V.V. Prospects for the production of modern packaging materials using biodegradable polymer compositions. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2019. no. 2. pp. 84-94. (in Russian).
- 13 Korchagin V.I., Studenikina L.N., Shelkunova M.V. Rheological behavior of a binary polymer composition. Plastics. 2019. no. 9-10. pp. 52–55. doi: 10.35164/0554-2901-2019-9-10-52-55 (in Russian).
- 14 Shtilman M.I. Biodegradation of polymers. Journal of Siberian Federal University. Biology. 2015. vol. 8. no. 2. pp. 113.
- 15 Dorigato A., Pegoretti A. Biodegradable single-polymer composites from polyvinyl alcohol. Colloid and Polymer science. 2012. V. 290. no. 4. pp. 359-370. doi: 10.1007/s00396-011-2556-z
- 16 Guzman-Puyol S., Ceseracciu L., Heredia-Guerrero J.A., Anyfantis G.C. et al. Effect of trifluoroacetic acid on the properties of polyvinyl alcohol and polyvinyl alcohol–cellulose composites. Chemical Engineering Journal. 2015. vol. 277. pp. 242-251. doi: 10.1016/j.cej.2015.04.092
- 17 Li W., Yue J., Liu S. Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly (vinyl alcohol) composites. Ultrasonics sonochemistry. 2012. vol. 19. no. 3. pp. 479-485. doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.11.007

18 Sabaa M.W., Abdallah H.M., Mohamed N.A., Mohamed R.R. Synthesis, characterization and application of biodegradable crosslinked carboxymethyl chitosan/poly (vinyl alcohol) clay nanocomposites. *Materials Science and Engineering: C*. 2015. vol. 56. pp. 363-373. doi: 10.1016/j.msec.2015.06.043

19 Sha D., Yang X., Wang B., Liu X. et al. Surface Grafting of a Quaternary Ammonium Salt on Macroporous Polyvinyl Alcohol-Formaldehyde Sponges and Their Highly Efficient Antibacterial Performance. *ACS Applied Polymer Materials*. 2020. vol. 2. no. 11. pp. 4936-4942. doi: 10.1021/acsapm.0c00822

20 Kayaci F., Uyar T. Encapsulation of vanillin/cyclodextrin inclusion complex in electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanoweb: Prolonged shelf-life and high temperature stability of vanillin. *Food chemistry*. 2012. vol. 133. no. 3. pp. 641-649. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.01.040

#### Сведения об авторах

**Любовь Н.Студеникина** к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lubov-churkina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

**Светлана Ю. Домарева** студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, domarevasveta@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0524-8948>

**Юлия Е. Голенских** студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yu.golenskih@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0151-3479>

**Анна В. Матвеева** студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, super-friks2016@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8410-8275>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Lyubov N. Studenikina** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lubov-churkina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

**Svetlana Yu. Domareva** student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, domarevasveta@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-0524-8948>

**Yulia E. Golenskih** student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yu.golenskih@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0151-3479>

**Anna V. Matveeva** student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, super-friks2016@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8410-8275>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/01/2021

После редакции 17/02/2021

Принята в печать 03/03/2021

Received 20/01/2021

Accepted in revised 17/02/2021

Accepted 03/03/2021