

Научная статья  
УДК 691.175.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ КОМПОЗИТОВ  
С ПОЛИМЕРНОЙ ФАЗОЙ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ,  
ИЗМЕЛЬЧЕННОГО СЕНА ЛУГОВЫХ ТРАВ  
И ПОЛИАКРИЛАТА НАТРИЯ**

**Мария Ярославовна Данчук<sup>1</sup>, Павел Сергеевич Захаров<sup>2</sup>,  
Виктор Владимирович Глухих<sup>3</sup>, Павел Сергеевич Кривоногов<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> mariyadanchuk2607@mail.ru

<sup>2</sup> zaharovps@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> glukhikhvv@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> krivonogovps@m.usfeu.ru

***Аннотация.*** В работе исследовано влияние содержания полиакрилата натрия на водопоглощение и биоразлагаемость композитов на основе ацетата целлюлозы и фитомассой трав естественных сенокосов. Установлено, что увеличение содержания полиакрилата приводит к существенному росту рассматриваемых показателей.

***Ключевые слова:*** полиакрилат натрия, композит, ацетат целлюлозы, биоразложение

Original article

**BIODEGRADATION OF COMPOSITES WITH A POLYMER PHASE  
OF CELLULOSE ACETATE, CRUSHED MEADOW GRASS HAY AND  
SODIUM POLYACRYLATE**

**Maria Ya. Danchuk<sup>1</sup>, Pavel S. Zakharov<sup>2</sup>, Viktor V. Glukhikh<sup>3</sup>,  
Pavel S. Krivonogov<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> mariyadanchuk2607@mail.ru

<sup>2</sup> zaharovps@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> glukhikhvv@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> krivonogovps@m.usfeu.ru

***Abstract.*** The effect of sodium polyacrylate content on water absorption and biodegradability of composites based on cellulose acetate and phytomass of herbs

of natural hayfields is investigated. It was found that an increase in the content of polyacrylate leads to a significant increase in the considered indicators.

**Keywords:** sodium polyacrylate, composite, cellulose acetate, biodegradation

Материалы на основе пластифицированного ацетата целлюлозы (ПАЦ) представляют большой интерес для различных отраслей промышленности как благодаря высоким показателям физико-механических свойств [1], так и способности к биоразложению [2, 3]. Проведенные исследования показывают, что введением в полимерную фазу ПАЦ древесной муки можно в широком интервале регулировать механические свойства материала [4]. В качестве наполнителя для ПАЦ могут быть использованы различные продукты и отходы сельского и лесного хозяйства [5–6]. Высокий потенциал биодеструкции демонстрируют композиты с лигноцеллюлозными наполнителями недревесного происхождения.

Наиболее эффективным способом управления скоростью биоразложения композитов с полимерной ПАЦ является изменения степени ацетилирования (замещения) ацетата целлюлозы [7–8]. Громоздкие ацетатные группы затрудняют ферментативную деструкцию полимерной фазы, поэтому наиболее эффективно биоразложение протекает у ацетатов со степенью ацетилирования порядка 2,00 [9].

Сегодня в сельском хозяйстве формируется потребность к водоудерживающим биоразлагаемым композитам. В качестве таких материалов предлагается использовать ПАЦ с лигноцеллюлозными наполнителями и полиакрилатом натрия. Ранее было показано, что композит с полимерной фазой триацетата целлюлозы полиакрилатом натрия и древесной мукой обладает хорошим уровнем физико-механических свойств, потенциалом к биоразложению и высокими водоудерживающими свойствами [10]. Для повышения степени биоразложения такого материала в качестве наполнителя предлагается использовать измельченную траву естественных сенокосов.

Целью настоящей работы являлось определение показателей водопоглощения и потери массы после выдержки в грунте образцами биокомпозитов на основе пластифицированного ацетата целлюлозы, полиакрилата натрия и измельченных трав естественных сенокосов.

В качестве полимерного связующего использовался триацетат целлюлозы (ТУ 6-05-943–75). В качестве наполнителя композитов траву естественных сенокосов марки ООО «Идеал», ОСТ 10243–2000. Для повышения водоудерживающих свойств применяли полиакрилат натрия ТУ 20.16.53-001-29204545–2020. В качестве пластификаторов использовался триацетин (ТУ 2435-070-00203521–2001) и трибутилфосфат (ТУ 18-09-8783–87). В качестве лубриканта использовался стеарат кальция марки Т-32 (ГОСТ 6484–96). Для получения образцов композитов осуществляли:

1. Механическое смешение ацетата целлюлозы с пластификатором и лубрикантом.

2. Сушку полученной смеси до постоянной массы.
3. Вальцевание смеси с помощью лабораторных вальцов при температуре 170 °С.
4. Изготовление стандартных образцов для испытаний методом горячего прессования.

План двухфакторного эксперимента с кодированными ( $X_i$ ) и натуральными ( $Z_i$ ) значениями факторов приведен в табл. 1.

*Таблица 1*

Рецептуры исследованных композитов

№ опыта	Кодированные значения факторов		Натуральные значения факторов	
	Содержание полиакрилата натрия	Содержание измельченной травы	Содержание полиакрилата натрия	Содержание измельченной травы
	$X_1$	$X_2$	$Z_1$ , мас. ч.	$Z_2$ , мас. ч.
1	-1,00	-1,00	2,9	57,3
2	-1,00	1,00	2,9	92,7
3	1,00	-1,00	17,1	57,3
4	1,00	1,00	17,1	92,7
5	-1,41	0,00	0,0	75,0
6	1,41	0,00	20,0	75,0
7	0,00	-1,41	10,0	50,0
8	0,00	1,41	10,0	100,0
9	0,00	0,00	10,0	75,0

Водопоглощение определяли по ГОСТ 12730.3–2020. Биоразложение оценивали по изменению массы образцами композитов после выдержки в активированном грунте в течение 30 суток. Методика испытаний приведена в работе [7]. Результаты испытаний свойств композитов с полиакрилатом натрия и измельченной травой естественных сенокосов приведены в табл. 2. Экспериментально-статистические зависимости свойств композитов от содержания в них полиакрилата натрия и древесной муки представлены в табл. 3.

Таблица 2

## Результаты испытаний свойств образцов композитов

№ Опыта	Водопоглощение за 1 час, мас. %	Биоразложение за 30 суток, %
1	6,5	12,5
2	17,7	16,2
3	12,4	21,4
4	100,0	100,0
5	6,6	15,7
6	26,5	100,0
7	15,2	16,6
8	16,7	17,8
9	21,2	100,0

Таблица 3

## Экспериментально-статистические зависимости свойств композитов от содержания полиакрилата натрия ( $Z_1$ ) и измельченных трав естественных сенокосов ( $Z_2$ )

Свойство	Регрессионная зависимость $Y_i$	Статистические параметры регрессионной зависимости $Y_i$ для доверительной вероятности 0,95		
		F-Значение	Коэффициент детерминации $R^2$	Стандартная ошибка
Водопоглощение за 1 час, мас. % ( $Y_1$ )	$Y = 0,67 \cdot Z_1 + 0,13 \cdot Z_2$	0,0005	0,95	4,5 %
Биоразложение за 30 суток, % ( $Y_2$ )	$Y_2 = 14,73 + 0,023 \cdot Z_1^2$	0,02	0,79	1,5 %

Образец композита № 4 разрушился в течение часа экспонирования в воде в процессе определения водопоглощения. Образцы композитов № 4, 6 и 9 полностью разрушились в течение 30 дней выдержки в активном грунте, однако точное время их разрушения установить представляется невозможным. Поэтому данные о потере массы этими образцами после выдержки в грунте в течение 30 суток были исключены из дальнейшего расчета регрессионной модели.

С ростом содержания полиакрилата натрия в составе композита наблюдается резкое увеличение показателя водопоглощения материала. Увеличение содержания лигноцеллюлозного наполнителя приводит к росту водопоглощения, однако влияние этого фактора гораздо менее эффективно (рис. 1).

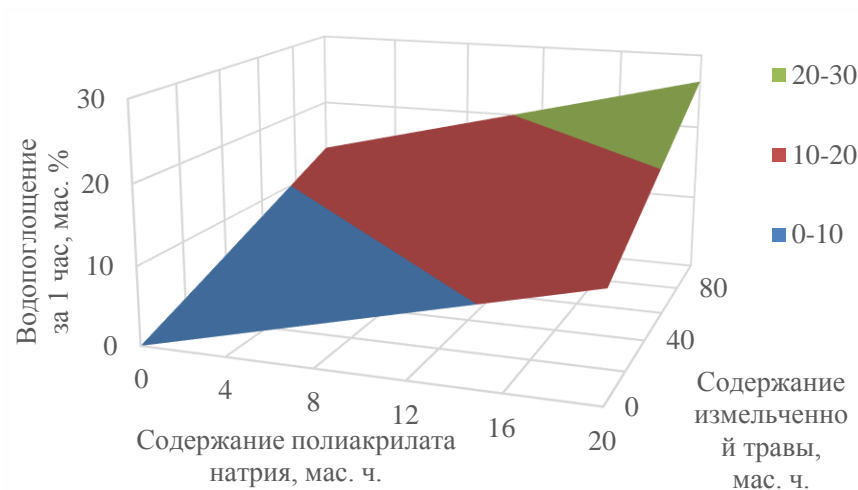


Рис. 1. График зависимости водопоглощения за 1 ч выдержки от содержания в образце полиакрилата натрия и сена луговой травы

Установлено, что содержание измельченных трав естественных сенокосов не оказывает значимого влияния на показатель потери массы образцами композитов за 30 суток выдержки в активированном грунте. Степень биоразложения материала определяется содержанием полиакрилата натрия (рис. 2). В то же время композиты с полимерной фазой ПАЦ, полиакрилатом и измельченными травами естественных сенокосов в несколько раз превосходят аналоги с наполнителем древесного происхождения [10].

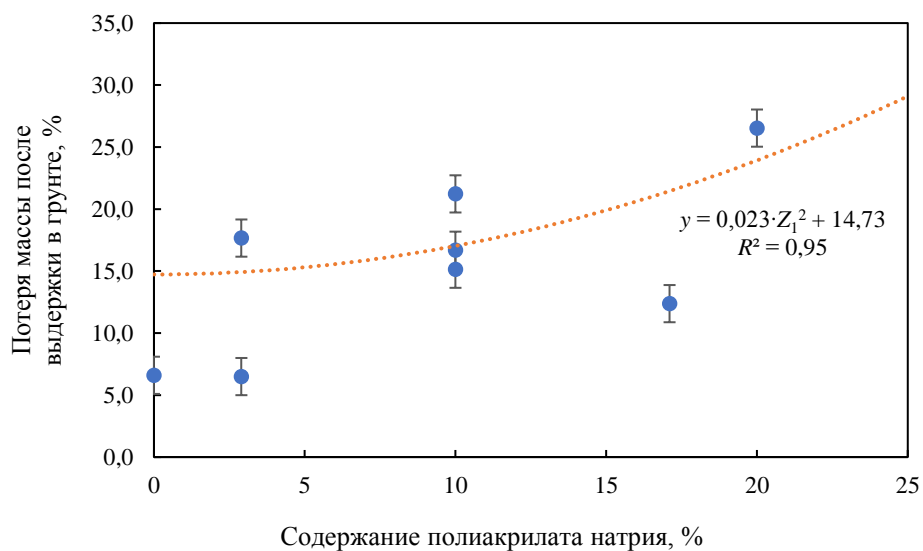


Рис. 2. График зависимости биоразложения за 30 суток от содержания в образце полиакрилата натрия и измельченного сена луговой травы

Композиты на основе пластифицированного ацетата целлюлозы с полиакрилатом натрия и измельченными травами естественных сенокосов демонстрируют высокие показатели водопоглощения и биоразложения

при компостировании в грунте. По этим показателям они значительно превосходят аналоги с полимерными фазами ПАЦ, полиакрилатом натрия и древесной мукой. Для ускорения биодegradации водоудерживающих композитов представляется перспективным использование диацетата целлюлозы в сочетании с полиакрилатом натрия и лигноцеллюлозными наполнителями недревесного происхождения.

## *Список источников*

1. Кудрявцев А. Д., Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование физико-механических свойств ацетилцеллюлозных этролов // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22, № 12. С. 28–31.

2. Готлиб Е. М., Голованова К. В., Селехова А. А. Пути создания биоразлагаемых полимерных материалов и их получение на основе пластифицированных диацетатов целлюлозы. Казань : КНИГУ, 2011. 132 с.

3. Biodegradation of acetyl cellulose etrols / A. E. Shkuro, V. V. Glukhikh, P. S. Krivonogov, A. D. Kudryavtsev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Arkhangelsk, Virtual, 10–11 сентября 2020 года. Arkhangelsk, Virtual, 2021. P. 012033. DOI 10.1088/1755-1315/678/1/012033.

4. Захаров П. С., Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование свойств наполненных ацетилцеллюлозных этролов // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23, № 2. С. 50–53.

5. Технологические свойства биодеструктируемых материалов на основе диацетата целлюлозы и соевой муки / А. А. Ольхов [и др.] // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 1. С. 75–79.

6. Исследование упругих свойств композитов на основе ацетата целлюлозы и лигноцеллюлозных наполнителей / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, П. С. Захаров, Х. С. Абзальдинов // Промышленное производство и использование эластомеров. 2023. № 1. С. 32–36. DOI 10.24412/2071-8268-2023-1-32-36.

7. Получение биокомпозитов с полимерной фазой пластифицированных ацетатов целлюлозы с различной степенью ацетилирования / А. Е. Шкуро [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 4. С. 155–168. DOI 10.37482/0536-1036-2023-4-155-168.

8. Влияние степени ацетилирования целлюлозы на свойства ненаполненного ацетата целлюлозы / К. А. Усова, П. С. Захаров, А. Е. Шкуро, В. В. Глухих // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий : социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : Материалы XIV международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 08–09 февраля 2023 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. С. 548–552.

9. Исследование физико-механических свойств композиционных материалов с полимерной фазой диацетата целлюлозы и древесной мукой /

П. С. Захаров, К. А. Усова, А. Е. Шкуро, В. В. Илюшин // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 1. С. 99–105.

10. Данчук М. Я. Влияние содержания полиакрилата натрия на водопоглощение и биоразложение композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы / М. Я. Данчук, П. С. Захаров, А. Е. Шкуро // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIV международной научно-технической конференции (Екатеринбург, 08–09 февраля 2023 г.). Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. С. 470–474.