

## Исследование физико-механических свойств композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы, сеном луговых трав и полиакрилатом натрия

М.Я. Данчук<sup>a</sup>, А.Е. Шкуро<sup>b</sup>, П.С. Захаров<sup>c</sup>, В.В. Глухих<sup>d</sup>

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

<sup>a</sup> mariyadanchuk2607@mail.ru, <sup>b</sup> shkuroae@m.usfeu.ru, <sup>c</sup> zazaver@mail.ru, <sup>d</sup> gluhihvv@m.usfeu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-1475-2919>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4016-2269>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6120-1867>

Статья поступила 02.08.2024, принята 10.09.2024

*Материалы, сочетающие способность к разложению под действием биологических факторов и водоудерживающие свойства, являются перспективными для применения в сельском хозяйстве. Предполагается, что они способны пролонгировать действие водорастворимых удобрений. Один из перспективных материалов в этой области — композиты на основе ацетата целлюлозы, полиакрилата натрия (суперсорбент) и сена луговых трав (лигноцеллюлозный наполнитель). Полимерная матрица, состоящая из ацетата целлюлозы, обеспечивает потенциал к биоразложению материала, присутствие суперсорбента обеспечивает водоудерживающие свойства, а лигноцеллюлозный наполнитель недревесного происхождения — относительно низкую стоимость материала. Методом вальцевания была получена серия образцов композитов с различным содержанием указанных компонентов. Были исследованы механические свойства, водо- и биостойкость полученных композитов. В результате установлены закономерности, определяющие влияние компонентного состава композитов с полимерной фазой пластифицированного ацетата целлюлозы на их физико-механические свойства, водопоглощение и биоразложение в грунте. Было выявлено, что использование полиакрилата натрия при производстве композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы значительно увеличивает их показатели водопоглощения и биоразложения. Однако из-за высокой стоимости полиакрилата его применение целесообразно только в качестве водоудерживающего агента совместно с лигноцеллюлозными наполнителями недревесного происхождения, такими как сено луговых трав. Композиты, состоящие из пластифицированного ацетата целлюлозы, полиакрилата натрия и сена луговых трав, характеризуются высокими механическими свойствами, которые превосходят характеристики большинства древесно-полимерных композитов на основе полиолефинов и разнообразных лигноцеллюлозных наполнителей. К преимуществам этих композитов относятся высокая прочность при изгибе и устойчивость к ударным нагрузкам.*

**Ключевые слова:** композит; полиакрилат натрия; ацетат целлюлозы; сено луговых трав; экструзия; прессование; биоразлагаемые материалы; пластификаторы; триацетин; трибутилфосфат.

## Mechanical properties of composites with a cellulose acetate polymer phase, meadow grass hay and sodium polyacrylate

M.Ya. Danchuk<sup>a</sup>, A.E. Shkuro<sup>b</sup>, P.S. Zakharov<sup>c</sup>, V.V. Glukhikh<sup>d</sup>

Ural State Forest Engineering University; 37 Sibirsky Trakt St., Ekaterinburg, Russia

<sup>a</sup> mariyadanchuk2607@mail.ru, <sup>b</sup> shkuroae@m.usfeu.ru, <sup>c</sup> zazaver@mail.ru, <sup>d</sup> gluhihvv@m.usfeu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-1475-2919>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4016-2269>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6120-1867>

Received 02.08.2024, accepted 10.09.2024

*Materials that combine the ability to decompose under the influence of biological factors and water-retaining properties are promising for use in agriculture. It is assumed that they are able to prolong the effect of water-soluble fertilizers. One of the promising materials for this area is composites based on cellulose acetate, sodium polyacrylate (supersorbent) and meadow grass hay (lignocellulose filler). The polymer matrix consisting of cellulose acetate provides the potential for biodegradation of the material, the presence of a supersorbent provides water-retaining properties, and the lignocellulose filler of non-wood origin – a relatively low cost of the material. A series of composite samples with different contents of the above components is obtained by rolling. Mechanical properties, water and bioresistance of the obtained composites are studied. As a result, regularities are established that determine the influence of the component composition of composites with the polymer phase of plasticized cellulose acetate on their physico-mechanical properties, water absorption and biodegradation in the soil. It is found that the use of sodium polyacrylate in the production of composites with the polymer phase of cellulose acetate significantly increases their water absorption and biodegradation indices. However, due to the high cost of polyacrylate, its use is advisable only as a water-retaining agent together with lignocellulose fillers of non-wood origin, such as meadow grass hay. Composites consisting of plasticized cellulose acetate, sodium polyacrylate and meadow grass hay are character-*

*ized by high mechanical properties that are superior to the characteristics of most wood-polymer composites based on polyolefins and various lignocellulose fillers. The advantages of these composites include high bending strength, impact resistance and ability.*

**Keywords:** composite; sodium polyacrylate; crushed meadow grass hay; cellulose acetate; extrusion; pressing; biodegradable materials; plasticizers; triacetin; tributyl phosphate.

**Введение.** В последнее время заметно возрос интерес к применению полимерных гидрогелей (ПГГ) в сельскохозяйственной индустрии. ПГГ представляют собой сеть макромолекул, способную увеличивать свой объем за счет поглощения молекул воды, благодаря содержащимся в большом количестве в ПГГ гидрофильным группам. Плотная структура полимерного «каркаса», как правило, предотвращает полное растворение ПГГ [1; 2]. Гидрогели на основе полиакрилатов используются в качестве антиэрозионных добавок. Они могут разлагаться различным образом под действием почвенных бактерий и грибов [3; 4]. Использование полиакрилатов получило широкое распространение в сельскохозяйственном, растениеводческом, лесном и садоводческом секторах. Применение полиакрилатов позволяет:

- улучшить состав и качество почв;
- повысить урожайность злаковых и овощных культур, а также плодовых деревьев и кустарников;
- эффективнее использовать и дозировать удобрения.

Сегодня промышленность стремится применять более экологичные материалы. Исследователи по всему миру работают над созданием таких материалов, которые помогут сделать продукцию более безопасной для окружающей среды. Большое внимание уделяется композитам, состоящим из необработанных натуральных волокон и полимерных матриц. В последнее время исследования в этой области стали одними из самых активно изучаемых.

Промышленность стремится использовать более эко-дружественные материалы, и ученые работают над созданием таких производных, которые помогли бы повысить экологическое качество продукции. Особое внимание уделяется композитам, в которых необработанные натуральные волокна сочетаются с полимерными матрицами. Исследования в этой области набирают все большую популярность. Кроме того, такие композиты обладают рядом преимуществ. Они не только дешевы в производстве, но и обладают высокими механическими характеристиками.

Среди различных натуральных волокон для исследования было выбрано измельченное сено луговых трав благодаря его легкой доступности. Географические и климатические условия России создают благоприятные условия для использования биомассы трав естественных сенокосов как потенциального источника лигноцеллюлозных волокон растительного происхождения, не относящихся к древесине. Урожайность трав на сенокосах варьируется от 2 до 5 т/га, но с использованием удобрений этот показатель может возрастать до 10 т/га [5]. Кроме того, исследования композитов на основе ПВХ показали, что

использование фитомассы луговых трав значительно ускоряет их разложение при экспонировании в грунте [6].

В сельском хозяйстве есть потребность в биоразлагаемых материалах с водоудерживающими свойствами [7]. Они могут сохранять удобрения в почве, продлевая их действие [8]. В качестве полимерной матрицы для таких материалов может быть использован ацетат целлюлозы [9]. В качестве водоудерживающего агента перспективно применение полиакрилата натрия. Требуется улучшить способность этих биоразлагаемых материалов удерживать влагу и изменять их проницаемость, чтобы повысить водопоглощение почвы и добиться более эффективного использования водных ресурсов. Благодаря особой молекулярной структуре и большому количеству гидрофильных групп водоудерживающие агенты способны поглощать значительные объемы воды и, в то же время, изменять структуру почвы путем связывания ее частиц и набухания [10; 11]. Представляется перспективным применение полиакрилата натрия для модификации почвы и улучшения ее влагоудерживающей способности.

Полиакрилат натрия — это сшитый (сетчатый) полимер, который получают при полимеризации смеси акриловой кислоты и акрилата натрия. Это белый порошок, который превращается в гель при погружении в воду. Известно, что полиакрилат натрия обладает сверхвысокой молекулярной массой, высокой водопоглощающей способностью, значительной скоростью водопоглощения, а также относительно низкой стоимостью [12; 13]. В дистиллированной воде полиакрилат натрия практически мгновенно поглощает более 800 % жидкости от собственного веса. При погружении в водопроводную (техническую) воду показатели водопоглощения и разбухания значительно скромнее (порядка 300 %). Это обусловлено присутствием в водопроводной воде ионов металлов (Na, Ca), затрудняющих эмиссию натрия из структуры полиакрилата и, следовательно, замедляющих проникновение молекул воды внутрь полимера. При разбухании в водной среде полимерная сетка полиакрилата деформируется. Но узлы сшивки, соединяющие цепи вместе, не позволяют им растворяться. С точки зрения механических свойств полиакрилат натрия достаточно прочен и гибок.

В работе [15] отмечается, что полиакрилат, использованный в виде водной эмульсии для предварительной обработки лигнина, применяемого в дальнейшем для получения композитов состава «поливинилхлорид/лигнин», оказывает благоприятное воздействие на большинство физико-механических свойств материала благодаря улучшению адгезии между лигнином и ПВХ, т. е. выступает в роли компатибилизатора. Авторы отмечают, что

оптимальное содержание полиакрилата составляет 0,5 мас. % от массы лигнина.

*Цель исследования* состоит в изучении возможности использования полиакрилата натрия как водоудерживающего агента в композитах на основе ацетата целлюлозы и сена луговых трав. В рамках исследования планировалось создание серии композитов с различным содержанием полиакрилата и сена, а также проведение оценки их механических свойств, водостойкости и способности к разложению в почве.

**Экспериментальная часть.** В качестве полимерной матрицы был использован ацетат целлюлозы (АЦ, ТУ 6-05-943-75) со степенью замещения 2,5–2,7. В качестве наполнителя применяли измельченное сено луговых трав (ИСЛТ, ОСТ 10243-2000). Для увеличения водопоглощения композитов использовали суперсорбент — полиакрилат натрия (ПАН, ТУ-2219-501-00208947-2008). В качестве пластификаторов использовались триацетин (ТУ 2435-070-00203521-2001) и трибутилфосфат (ТБФ, ТУ 18-09-8783-87). Массовое соотношение между АЦ, триацетином и ТБФ сохранялось постоянным и составляло 667:267:67. Рецептуры исследованных композитов представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Рецептуры композитов

Номер образца	Содержание компонентов, мас. %		
	Пластифицированный АЦ	ПАН ( $Z_1$ )	ИСЛТ ( $Z_2$ )
1	100	2,9	57,3
2	100	2,9	92,7
3	100	17,1	57,3
4	100	17,1	92,7
5	100	0,0	75,0
6	100	20,0	75,0
7	100	10,0	50,0
8	100	10,0	100,0
9	100	10,0	75,0

Композиты были изготовлены методом вальцевания при температуре 160–170 °С. Стандартные образцы для испытаний получали горячим прессованием при 170 °С.

**Таблица 2.** Результаты испытаний физико-механических свойств образцов композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы и полиакрилата натрия

Номер опыта	Твердость, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Прочность при изгибе, МПа	Водопоглощение за 1 ч, %	Водопоглощение за 30 суток, %	Потеря массы после за 30 суток выдержки, %
1	39,4	1 220	12,5	45,0	6,5	26,8	12,5
2	69,2	1 270	8,2	32,6	17,7	27,8	16,2
3	56,9	1 340	5,4	38,4	12,4	–	21,4
4	31,0	1 130	7,3	50,0	–	–	100,0
5	41,9	1 270	9,1	36,7	6,6	26,8	15,7
6	52,8	1 330	5,7	37,4	26,5	100,4	100,0
7	57,1	1 300	18,8	44,9	15,2	47,8	16,6

Были определены следующие свойства композитов: твердость по Бринеллю по ГОСТ 4670-67, модуль упругости при сжатии по ГОСТ 9550-81, прочность при изгибе по ГОСТ 17036-7 и водопоглощение по ГОСТ 19592.

Определение ударной вязкости проводилось на приборе типа Динстат – Дис по ГОСТ 14235-69. Пластичность определялась как отношение пластической деформации к полной после вдавливания в образец индентора твердомера БТШПСП У42 при нагрузке 36,5 кгс. Биостойкость материалов определяли по методике, приведенной в работе [14] по изменению массы образцов после их выдержки в активном грунте в течение 90 суток.

**Анализ результатов.** Чтобы оценить, как содержание ПАН ( $Z_1$ ) и ИСЛТ ( $Z_2$ ) влияет на свойства композитов с полимерной фазой АЦ, был проведен двухфакторный эксперимент по плану Бокса – Уилсона. (табл. 1). Результаты определения свойств, полученных по этому плану образцов композитов, представлены в табл. 2.

В целом рассматриваемые образцы композитов обладают выдающимися физико-механическими свойствами, которые превосходят характеристики композитов на основе полиэтилена низкого давления и древесной муки.

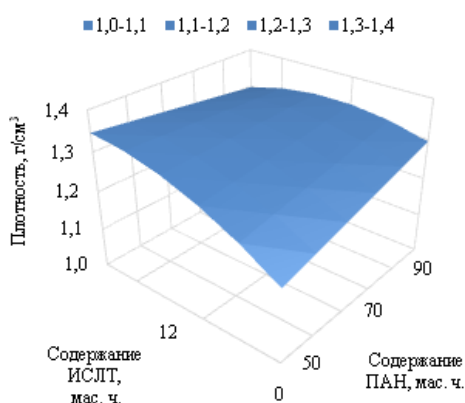
К преимуществам исследуемых материалов можно отнести их высокую прочность при изгибе — до 50 МПа у образца № 4 — и ударную вязкость, которая достигает 29 кДж/м<sup>2</sup> у образца № 9. Однако стоит отметить, что композиты на основе АЦ с добавками ИСЛТ и ПАН отличаются высокой степенью разложения в грунте. При этом образцы композитов № 4, 6 и 9 полностью разложились после 30 суток выдержки в активном грунте. Это соответствует стандартам, предъявляемым к биоразлагаемой таре и упаковке. Очевидно, что, изменяя содержание наполнителей в полимерной матрице, можно в широких пределах варьировать физико-механические свойства композитов, а также их водостойкость и способность к биоразложению в грунте.

Чтобы определить, как содержание ПАН и ИСЛТ влияет на свойства композитов, проводился регрессионный анализ. В результате были получены экспериментально-статистические модели свойств композитов (табл. 3).

8	58,3	1 340	16,5	30,6	16,7	–	17,8
9	61,0	1 340	29,5	34,5	21,2	–	100,0

**Таблица 3.** Экспериментально-статистические зависимости свойств композитов от содержания полиакрилата натрия ( $Z_1$ ) и луговой травы ( $Z_2$ )

Свойство	Регрессионная зависимость $Y_i$	Статистические параметры регрессионной зависимости $Y_i$ для доверительной вероятности 0,95		
		Значение $F$	Коэффициент детерминации $R^2$	Стандартная ошибка
Плотность, г/см <sup>3</sup> ( $Y_1$ )	$Y_2 = 1,074 + 0,023 \cdot Z_1 + 0,002 \cdot Z_2 - 0,00036 \cdot Z_1 - 0,00016 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,09	0,9	0,03 г/см <sup>3</sup>
Твердость по Бринеллю, МПа ( $Y_2$ )	$Y_1 = 7,857 + 8,207 \cdot Z_1 + 0,008 \cdot Z_2^2 - 0,111 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,09	0,83	8,5 МПа
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> ( $Y_3$ )	$Y_3 = 86,039 - 2,065 \cdot Z_2 + 0,013 \cdot Z_2^2$	0,06	0,78	3,2 кДж/м <sup>2</sup>
Прочность при изгибе, МПа ( $Y_4$ )	$Y_4 = 83,873 - 3,776 \cdot Z_1 - 0,627 \cdot Z_2 + 0,048 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,1	0,81	4,8 МПа
Водопоглощение за 1 ч, % ( $Y_5$ )	$Y_5 = 0,67 \cdot Z_1 + 0,13 \cdot Z_2$	0,0005	0,95	4,5 %
Потеря массы после выдержки в грунте в течение 30 суток, % ( $Y_6$ )	$Y_6 = 0,023 \cdot Z_1 + 14,73$	0,09	0,99	2,2 %

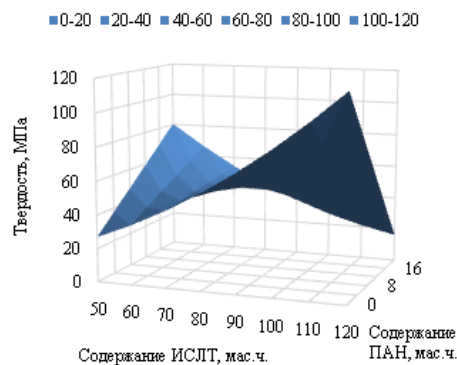


**Рис. 1.** Зависимость плотности от содержания ПАН и ИСЛТ

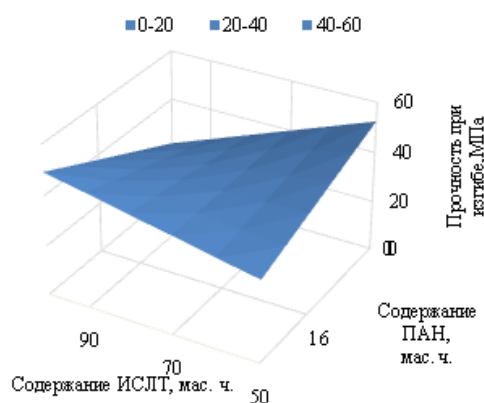
Графики установленных зависимостей представлены на рис. 1–6. Плотность изучаемых композитов увеличивается вместе с ростом содержания измельченного сена луговых трав (ИСЛТ) и полиакрилата натрия (ПАН) в образце. Это свидетельствует о хорошей совместимости компонентов материала из-за высокой межфазной адгезии.

Введение в состав пластифицированного АЦ измельченного сена луговых трав приводит к увеличению твердости материала, что говорит о хорошей совместимости наполнителя и полимерной фазы. Введение в состав композитов с невысокими степенями наполнения ИСЛТ (50–60 мас. ч.) полиакрилата натрия, имеющего более низкую твердость по сравнению с остальными компонентами материала, также приводит к повышению твердости и жесткости образца, что может быть вызвано частичной абсорбцией пластификаторов

макромолекулами ПАН. При более высоких степенях наполнения ацетата ИСЛТ твердость материала резко снижается вследствие низкой собственной твердости ПАН, ухудшения распределения наполнителя в полимерной фазе, вызванной абсорбцией пластификаторов.

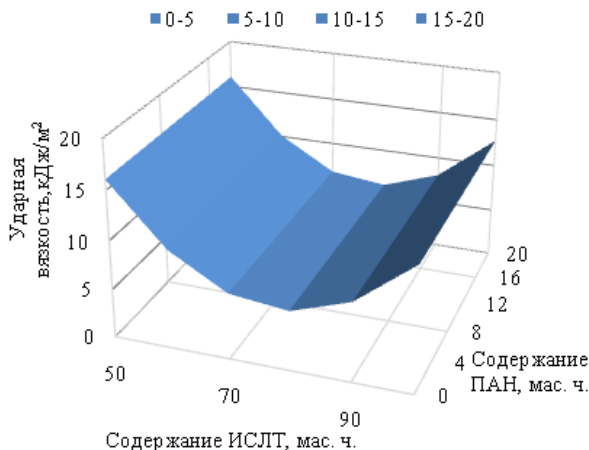


**Рис. 2.** Зависимость твердости по Бринеллю от содержания ПАН и ИСЛТ



**Рис. 3.** Зависимость прочности при изгибе от содержания ПАН и ИСЛТ

Похожие тенденции характерны и для показателя прочности при изгибе (рис. 3). Максимальной прочностью при изгибе обладают образцы композитов с высокой степенью наполнения ИСЛТ (до 90 мас. ч.) и минимальным содержанием ПАН (до 2 мас. ч.), а также с максимальным содержанием ПАН (20 мас. ч.) и минимальным в ряду проведенных экспериментов содержанием сена луговых трав (50 мас. ч.).



**Рис. 4.** Зависимость ударной вязкости от содержания ПАН и ИСЛТ

Зависимость показателя ударной вязкости от содержания в образцах ИСЛТ носит экстремальный характер. Наименьших значений этот показатель достигает при содержании наполнителя порядка 70–75 мас. ч. Изменение содержания полиакрилата натрия практически не оказывает влияния на ударную прочность материала. Высоконаполненные образцы демонстрируют значительную ударную прочность, в несколько раз превосходящую показатели образцов древеснонаполненных полиолефинов [16].

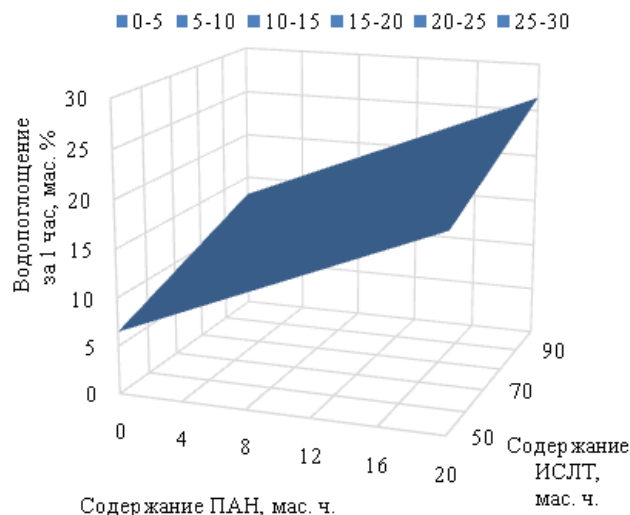
Наиболее ощутимым эффектом от введения в состав композитов с полимерной фазой пластифицированного АЦ полиакрилата натрия является резкий рост водопоглощения. Установлено, что 1 мас. ч. ПАН примерно в 5 раз более эффективно поглощает влагу по сравнению с аналогичным количеством ИСЛТ. Несмотря на большую эффективность полиакрилата, значительно более низкая стоимость измельченного сена луговых трав определяет дальнейшую перспективу их применения. При этом совместное применение ПАН и ИСЛТ позволяет увеличить водопоглощение композитов с полимерной фазой АЦ до 50 раз.

Показатель водопоглощения за 30 суток также увеличивался пропорционально содержанию ПАН и ИСЛТ в составе материала. Однако экспериментально-статистических моделей для данного показателя получить не удалось, так как часть образцов (3; 4; 8; 9) разрушилась в процессе экспонирования в водной среде, что является следствием их возросшей гидрофильности.

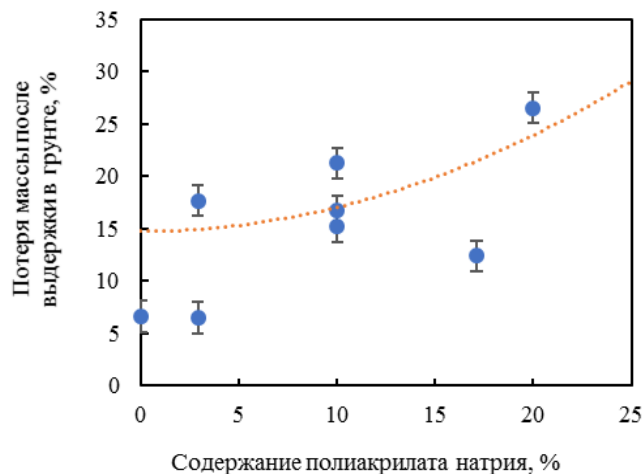
Образцы композитов с полимерной фазой пластифицированного АЦ, полиакрилатом натрия и измельченным сеном луговых трав обладают высоким потенциалом к биоразложению. В ходе исследования

было установлено, что степень биоразложения образцов в активном грунте практически не зависит от содержания в них ИСЛТ.

В то же время, введение в состав материала ПАН позволяет на 40 % увеличить потерю массы образцами после экспонирования в грунте в течение 30 суток. Оказываемый ПАН эффект объясняется двумя факторами: во-первых, известной биосовместимостью и потенциальной биodeградируемостью акриловых полимеров, а во-вторых, водоудерживающими свойствами ПАН, обеспечивающими проникновение питательной среды в виде бактерий, микробов и грибов внутрь композита.



**Рис. 5.** Зависимость водопоглощения за 1 ч от содержания ПАН и ИСЛТ



**Рис. 6.** Потери массы за 30 суток выдержки от содержания ПАН

**Заключение.** В ходе исследования были определены закономерности влияния компонентного состава композитов с полимерной фазой пластифицированного ацетата целлюлозы на их основные физико-механические свойства, водопоглощение и способность к биоразложению в грунте.

Было выявлено, что использование полиакрилата натрия при производстве композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы значительно увеличивает их

показатели водопоглощения и биоразложения. Однако из-за высокой стоимости полиакрилата его применение целесообразно только в качестве водоудерживающего агента совместно с лигноцеллюлозными наполнителями недревесного происхождения, такими как ИСЛТ.

Композиты, состоящие из пластифицированного АЦ, ПАН и ИСЛТ, демонстрируют высокий уровень

механических свойств. По большинству показателей они превосходят характеристики композитов, полученных с использованием полиолефинов и различных лигноцеллюлозных наполнителей. К преимуществам композитов на основе АЦ, ПАН и ИСЛТ относятся высокая прочность при изгибе, устойчивость к ударным нагрузкам и способность к биоразложению в грунте.

#### Литература

1. Кудрявцев А.Д., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Исследование физико-механических свойств ацетилцеллюлозных этролов // Вестн. технологического ун-та. 2019. Т. 22, № 12. С. 28-32.
2. Yang X., Congying L., Hongbin H. Performances of biodegradable polymer composites with functions of nutrient slow-release and water retention in simulating heavy metal contaminated soil: Biodegradability and nutrient release characteristics // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 294. P. 294.
3. Получение полимерных материалов из вторичного лигноцеллюлозного сырья: моногр. / под общ. ред. В.В. Глухих. Екатеринбург: УГЛУ, 2022. 187 с.
4. Буянов А.Л., Ревельская Л.Г., Петропавловский Г.А. Особенности сеточной структуры сильнонабухающих гидрогелей, сшитых непредельными эфирами целлюлозы // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 1989. Т. 31, № 12. С. 883.
5. Лазарев Н.Н., Кремин В.В., Виноградов Е.С. Урожайность кормовых угодий в зависимости от состава высевных травосмесей и удобрений // Изв. Тимирязевской сельскохозяйственной акад. 2010. № 5. С. 31-38.
6. Шкуро А.Е., Глухих В.В., Кулаженко Ю.М., Захаров П.С. Биоразлагаемые композиты с полимерной фазой поливинилхлорида и лигноцеллюлозными наполнителями // Resources and Technology. 2023. V. 20, № 3. P. 1-14.
7. Крамаренко Е.Ю., Хохлов А.Р. Полиэлектролитные сетки как высокочувствительные полимеры // Высокомолекулярные соединения. 2006. Т. 48, № 7. С. 1216-1240.
8. Захаров П.С., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С. Исследование свойств наполненных ацетилцеллюлозных этролов // Вестн. технологического ун-та. 2020. Т. 23, № 2. С. 50-53.
9. Ach A. Biodegradable Plastics Based on Cellulose Acetate // Journal of Macromolecular Science, Part A. 1993. V. 30. P. 733-740.
10. Шкуро А.Е., Глухих В.В., Кривоногов П.С., Стоянов О.В. Наполнители аграрного происхождения для древесно-полимерных композитов (обзор) // Вестн. Казанского технологического ун-та. 2014. Т. 17, № 21. С. 160-163.
11. Браннон-Пеппас Л., Харланд Р.С. Технология абсорбирующих полимеров // Технология абсорбирующих полимеров. Elsevier, Амстердам, 1990. Ч. 1. 201 с.
12. Симонова Е.И. Получение и свойства сорбционных материалов на основе технической целлюлозы из недревесного растительного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Екатеринбург, 2018. 153 с.
13. Захаров П.С., Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Кулаженко Ю.М. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе пластифицированного ацетата целлюлозы и муки тростника // Вестн. технологического ун-та. 2021. Т. 24, № 12. С. 88-92.
14. Liu F., Xu K., Chen M., Cao D. The Roles of Polyacrylate in Poly (vinyl chloride) - Lignin Composites // Polymer Composites. 2011. V. 32. P. 1399-1407.
15. Мичуров Д.М., Шкуро А.Е., Глухих В.В. Исследование физико-механических свойств композитов с полимерной фазой полилактида и кострой конопли // Вестн. технологического ун-та. 2024. № 1. С. 59-63.
16. Шкуро А.Е., Глухих В.В., Мухин Н.М. Получение и изучение свойств древесно-полимерных композитов с наполнителями из отходов растительного происхождения // Вестн. МГУЛ. Лесной вестн. 2016. Т. 20, № 3. С. 101-105.

#### References

1. Kudryavcev A.D., Shkuro A.E., Krivonogov P.S. Study of the physical and mechanical properties of cellulose acetate etrols // Herald of technological university. 2019. V. 22, № 12. P. 28-32.
2. Yang X., Congying L., Hongbin H. Performances of biodegradable polymer composites with functions of nutrient slow-release and water retention in simulating heavy metal contaminated soil: Biodegradability and nutrient release characteristics // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 294. P. 294.
3. Production of polymer materials from secondary lignocellulosic raw materials: monogr. / pod obshch. red. V.V. Gluhih. Ekaterinburg: UGLTU, 2022. 187 p.
4. Buyanov A.L., Revel'skaya L.G., Petropavlovskij G.A. Features of the network structure of highly swelling hydrogels cross-linked with unsaturated cellulose ethers // Polymer Science. Seriya B. 1989. V. 31, № 12. P. 883.
5. Lazarev N.N., Kremyn V.V., Vinogradov E.S. The yield of forage lands depending on the composition of sown grass mixtures and fertilizers // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2010. № 5. P. 31-38.
6. Shkuro A.E., Gluhih V.V., Kulazhenko Yu.M., Zaharov P.S. Biodegradable composites with a polymer phase of polyvinyl chloride and lignocellulose fillers // Resources and Technology. 2023. V. 20, № 3. P. 1-14.
7. Kramarenko E.Yu., Hohlov A.R. Polyelectrolyte meshes as highly sensitive polymers // Vysokomolekulyarnye soedineniya. 2006. V. 48, № 7. P. 1216-1240.
8. Zaharov P.S., Shkuro A.E., Krivonogov P.S. Study of the properties of filled cellulose acetate etrols // Herald of technological university. 2020. V. 23, № 2. P. 50-53.
9. Ach A. Biodegradable Plastics Based on Cellulose Acetate // Journal of Macromolecular Science, Part A. 1993. V. 30. P. 733-740.
10. Shkuro A.E., Gluhih V.V., Krivonogov P.S., Stoyanov O.V. Fillers of agricultural origin for wood-polymer composites (review) // Herald of Kazan Technological University (KNRTU). 2014. V. 17, № 21. P. 160-163.
11. Brannon-Peppas L., Harland R.S. Absorbent Polymer Technology // Absorbent polymer technology. Elsevier, Amsterdam, 1990. Ch. 1. 201 p.
12. Simonova E.I. Preparation and properties of sorption materials based on technical cellulose from non-wood plant raw materials: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.03. Ekaterinburg, 2018. 153 p.
13. Zaharov P.S., Chirkov D.D., Shkuro A.E., Kulazhenko Yu.M. Study of the properties of a polymer composite material based on plasticized cellulose acetate and cane flour // Herald of technological university. 2021. V. 24, № 12. P. 88-92.
14. Liu F., Xu K., Chen M., Cao D. The Roles of Polyacrylate in Poly (vinyl chloride) - Lignin Composites // Polymer Composites. 2011. V. 32. P. 1399-1407.
15. Michurov D.M., Shkuro A.E., Gluhih V.V. Study of physical and mechanical properties of composites with the polymer phase of polylactide and hemp husk // Herald of technological university. 2024. № 1. P. 59-63.
16. Shkuro A.E., Gluhih V.V., Muhin N.M. Preparation and study of the properties of wood-polymer composites with fillers from plant waste // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2016. V. 20, № 3. P. 101-105.