

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 678.02:674.816:615.281:577.21

DOI: 10.53374/1993-0135-2025-3-81-87

Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 3. С. 81–87

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ

П. С. Захаров, А. В. Артёмов, А. Е. Шкуро*, Ю. Л. Юрьев

Уральский государственный лесотехнический университет,
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

*E-mail: shkuroae@m.usfeu.ru

Аннотация. Разработка биоразлагаемых композитных удобрений пролонгированного действия является перспективным направлением в сельском хозяйстве. Такие удобрения обеспечивают постепенное высвобождение питательных веществ, что способствует равномерному питанию растений, снижению потерь удобрений и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Композиты состоят из полимерной матрицы (биоразлагаемые полимеры, цеолиты, гидрогели), активных компонентов (азот, фосфор, калий, микроэлементы) и модификаторов (влагоудерживающие добавки, биоразлагаемые наполнители), что позволяет регулировать скорость выделения питательных веществ. В качестве полимерной матрицы может применяться пластифицированный ацетат целлюлозы (АЦ), разлагающийся под воздействием микроорганизмов, таких как бактерии, грибы и актиномицеты. Исследование биоразложения материалов на основе АЦ включает анализ влияния влажности почвы и состава композитов на разложение материала. Включение полиакрилата натрия (ПАН) повышает биоразлагаемость за счет его влагоудерживающих свойств, что способствует ускоренному проникновению микроорганизмов внутрь материала. В работе изучена грибоустойчивость композитов на основе ацетата целлюлозы, древесной муки и ПАН. Оценка биостойкости проводилась по степени поражения образцов плесневыми грибами и потере массы после экспонирования в активном грунте. Полученные данные подтверждают влияние состава композитов на их устойчивость к биологической деградации. Результаты позволяют прогнозировать долговечность композитных удобрений в реальных условиях эксплуатации и разрабатывать новые эффективные составы.

Ключевые слова: композиты, ацетат целлюлозы, древесная мука, полиакрилат натрия, NPK-удобрение, биоразложение, грибоустойчивость.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 3, P. 81–87

INVESTIGATION OF THE RESISTANCE OF CELLULOSE ACETATE COMPOSITES AGAINST MOULD FUNGI

P. S. Zakharov, A. V. Artyomov, A. E. Shkuro*, Yu. L. Yuryev

¹The Ural State Forest Engineering University
37, Sibirskiy trakt, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
E-mail: shkuroae@m.usfeu.ru

Annotation. The development of biodegradable composite fertilizers with prolonged action is a promising direction in agriculture. Such fertilizers provide a gradual release of nutrients, which contributes to uniform nutrition of plants, reduce fertilizer losses and minimize negative impact on the environment. Composites consist of a polymer matrix (biodegradable polymers, zeolites, hydrogels), active components (nitrogen, phosphorus, potassium, microelements) and modifiers (water-retaining additives, biodegradable fillers), which allows regulating the rate of release of nutrients. Plasticized cellulose acetate (AC), which decomposes under the influence of microorganisms such as bacteria, fungi and actinomycetes, can be used as a polymer matrix. The study of AC biodegradation includes an analysis of the effect of soil moisture and the composition of the composites on the decomposition of the material. The inclusion of sodium polyacrylate (PAN) increases biodegradability due to its water-retaining properties, which facilitates accelerated penetration of microorganisms into the material. The work studies the fungal resistance of composites based on cellulose acetate, wood flour and PAN. Biostability was assessed based on the degree of mold damage to samples and weight loss after exposure to active soil. The data obtained confirm the influence of the composition of

composites on their resistance to biological degradation. The results allow predicting the durability of composite fertilizers under real operating conditions and developing new effective compositions.

Keywords: *composites, cellulose acetate, wood flour, sodium polyacrylate, biodegradability, fungus resistance, NPK fertilizer.*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в сельском хозяйстве является разработка биоразлагаемых композитных удобрений пролонгированного действия. Композитные удобрения пролонгированного действия представляют собой материалы на основе полимерных матриц или других композитов, обеспечивающих постепенное высвобождение питательных веществ, что способствует равномерному питанию растений, снижению потерь удобрений и уменьшению их негативного воздействия на окружающую среду. В их состав входят полимерная матрица (биоразлагаемые полимеры, цеолиты, гидрогели), активные компоненты (азот, фосфор, калий, микроэлементы) и модификаторы (вагоудерживающие добавки, биоразлагаемые наполнители), что позволяет контролировать скорость выделения питательных веществ. Такие удобрения особенно актуальны для регионов с низким плодородием почв и засушливым климатом, где требуется длительный и эффективный эффект подкормки растений [1–3].

В качестве полимерной матрицы для таких удобрений может использоваться пластифицированный ацетат целлюлозы (АЦ). Изменяя степень его замещения, состав наполнителей и пластификаторов, можно регулировать механические свойства материала и скорость его биоразложения [4–7]. Механизм биоразложения ацетата целлюлозы (АЦ) заключается в его взаимодействии с микроорганизмами, такими как бактерии, грибы и актиномицеты, которые способны разлагать органические материалы. Основные этапы процесса биоразложения АЦ включают [8]:

1. Абсорбция воды.
2. Набухание и ослабление полимерных связей.
3. Активизация микроорганизмов, бактерий и грибов, обладающие ферментами, способными разжижать или разрывать полимерные цепочки, начинают атаковать ацетат целлюлозы.
4. Гидролиз ацетатных групп с помощью ферментов, таких как эстеразы, что приводит к освобождению уксусной кислоты и образованию промежуточных продуктов.
5. Разрушение полимерной структуры.
6. После гидролиза ацетильных групп целлюлозные цепочки становятся более подвержены дальнейшему расщеплению. Микроорганизмы продолжают разрушать полимер, расщепляя целлюлозные молекулы на более мелкие фрагменты, которые могут быть далее переработаны в более простые органические соединения.
7. Конечными продуктами разложения становятся углекислый газ (CO_2), вода (H_2O) и минеральные соли, которые возвращаются в экосистему. Уксусная кислота также может быть преобразована в углекислый газ и воду через метаболические процессы микроорганизмов.

Таким образом, биоразложение ацетата целлюлозы происходит за счет работы природных микроорганизмов, которые, благодаря своим ферментам, постепен-

но разрушают полимерную структуру и превращают её в экологически безопасные вещества.

Важным фактором эффективности биодеструкции полимерных материалов является уровень влажности почвы. Полиакрилат натрия (ПАН) зарекомендовал себя как эффективный водоудерживающий агент [9] и перспективная добавка к пластифицированному АЦ. Приведённые ранее исследования показывают, что композиты на основе пластифицированного АЦ, ПАН и измельчённого сена луговых трав обладают высокой способностью к биоразложению. Введение ПАН увеличивает потерю массы за 30 суток образцов композитов на 40 % за счёт его совместимости полимерной фазой АЦ и лигноцеллюлозными наполнителями, биodeградируемости и водоудерживающих свойств, способствующих проникновению микроорганизмов внутрь материала [10].

Известно, что биостойкость материалов напрямую связана с их грибостойкостью, так как грибковые микроорганизмы играют значительную роль в биологическом разложении материалов. Грибостойкость можно рассматривать частный случай биостойкости, связанный с устойчивостью к поражению плесневыми и древесными грибами. Эти организмы способны разрушать полимерные структуры, изменять механические свойства материала и ускорять его деградацию.

Биостойкость композитов во многом определяется их устойчивостью к грибковому поражению, так как грибы являются одним из главных факторов биологического разложения. Высокая грибостойкость предотвращает преждевременную деградацию материала, сохраняя его механические свойства и продлевая срок службы. Влага и органические наполнители могут снижать устойчивость к грибам, ускоряя разрушение композитов, тогда как антимикробные добавки и гидрофобные покрытия, наоборот, повышают как грибостойкость, так и общую биостойкость. Исследование этих характеристик позволяет прогнозировать долговечность композитов и их поведение в реальных условиях эксплуатации.

Цель настоящей работы заключалась в определении стойкости композитов на основе ацетата целлюлозы, древесной муки и полиакрилата натрия к воздействию плесневых грибов по степени их развития на поверхности образцов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данном исследовании для создания композитов использовали ацетат целлюлозы в качестве полимерной матрицы, с добавлением триацетина (ТУ 2435-070-00203521–2001) и трифенилфосфата (ТФФ, ТУ 6-06-241–92) в качестве пластификаторов. Состав полимерной фазы был фиксирован: 66,7 % АЦ, 26,7 % триацетина и 6,6 % ТФФ. В качестве лигноцеллюлозного наполнителя использовалась древесная мука (ДМ) марки 180 (ГОСТ 16361–87), а для улучшения водоудерживающих свойств композитов применяли полиакрилат натрия (ПАН, ТУ 2458-010-14023401–

2012). Для обеспечения эффекта подкормки использовали NPK-удобрение с содержанием 15 % азота, 15 % оксида фосфора и 15 % оксида калия (производства группа «ФосАгро»). Механизм действия NPK-удобрений основан на комплексном влиянии азота, фосфора и калия: азот стимулирует рост и фотосинтез, фосфор укрепляет корневую систему и ускоряет созревание, а калий регулирует водный баланс и повышает устойчивость растений к стрессам.

Рецептуры исследованных композитов приведены в табл. 1. Композиты были получены на вальцах марки ПД-320-160/160 при рабочей температуре 180 °С. Образцы для испытаний изготавливали прямым прессованием при 5 МПа и 160 °С.

В ходе проведения эксперимента оценивали степень обрастания плесневыми грибами поверхности образцов материалов визуально невооруженным глазом и под микроскопом. Оценку проводили по ГОСТ 9.048–89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические [11]. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» по шестибалльной шкале (табл. 2).

Сущность эксперимента заключается в том, что изделия без очистки от внешних загрязнений заражали суспензией спор грибов и выдерживают в условиях, оптимальных для их развития, в течение 84 суток, с промежуточной контрольной точкой 28 суток.

В исследовании приводится оценка биостойкости композитов по показателю потери массы после экспонирования образцов в активном грунте в течение

60 суток. Подробная методика испытаний приводится в работе [12]. Также приведены результаты определения плотности образцов, определённой с помощью метода гидростатического взвешивания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид образцов композитов после проведения испытаний на грибостойкость по ГОСТ 9.048–89 представлен на рис. 1.

Наиболее выраженное поражение плесневыми грибами характерно для образцов композитов № 1, 2 (рис. 2), 4 (рис. 3), 7, 11, 12, 13, 15. Для данных образцов невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих более 25% испытываемой поверхности. Наибольшее обрастание плесневыми грибами демонстрируют образцы композитов с высоким содержанием древесной муки. На поверхности образцов композитов № 5 и № 14 хорошо различимый мицелий занимает площадь меньшую чем 25 %. На поверхности образцов № 6, № 9 и № 10 мицелий заметен невооруженным глазом, но отчетливо различить его детали можно лишь под микроскопом.

Практически в половине опытов из образцов композитов на ранних стадиях эксперимента (14-25 дней с момента начала) наблюдалось выделение вязкой маслянистой жидкости желтого цвета (рис. 4). Очевидно, по большей части выделяющаяся жидкость состоит из пластификаторов АЦ – триацетина и трифенилфосфата. однако ее химический состав требует уточнения с помощью современных методов физико-химического анализа.

Таблица 1
Рецептуры исследованных композитов

№ опыта	Содержание компонента, мас. ч.			
	Пластифицированный АЦ	ДМ	NPK-удобрение	ПАН
1	100,0	36,0	4,5	14,4
2	100,0	35,1	17,5	3,5
3	100,0	12,0	23,8	4,8
4	100,0	40,8	10,2	8,2
5	100,0	10,5	20,8	16,6
6	100,0	25,6	12,8	10,3
7	100,0	23,3	11,6	18,6
8	100,0	29,4	0,0	11,8
9	100,0	22,7	22,7	9,1
10	100,0	25,6	12,8	10,3
11	100,0	31,7	15,9	12,7
12	100,0	25,6	12,8	10,3
13	100,0	40,3	5,1	4,1
14	100,0	12,4	6,2	19,7
15	100,0	28,6	14,3	0,0
16	100,0	14,6	7,3	5,8
17	100,0	0,0	17,2	13,8

Таблица 2
Оценка степени обрастания образцов плесневыми грибами

Оценка, баллов	Критерий оценки
0	Под микроскопом прорастания спор и конидий не обнаружено
1	Под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий
2	Под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение
3	Невооруженным глазом мицелий и (или) спороношение едва видны, но отчетливо видны под микроскопом
4	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих менее 25 % испытываемой поверхности
5	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих более 25 % испытываемой поверхности



Рис. 1. Образцы композитов после 84 суток эксперимента

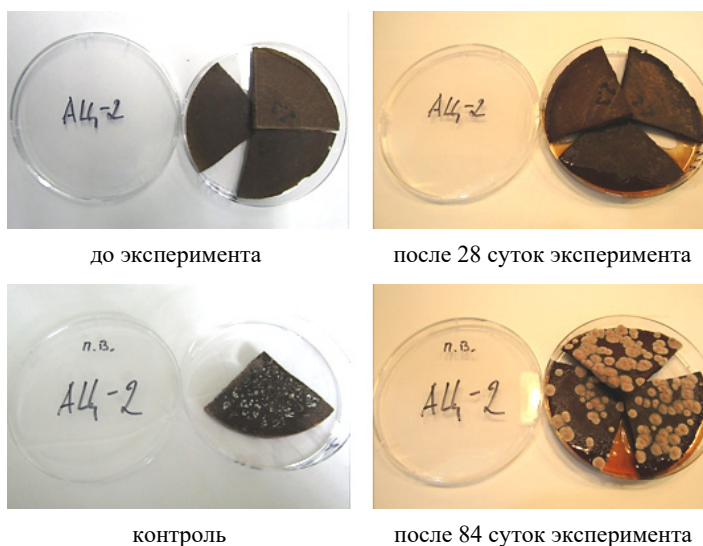


Рис. 2. Изменение внешнего вида образцов композита № 2 в течение эксперимента

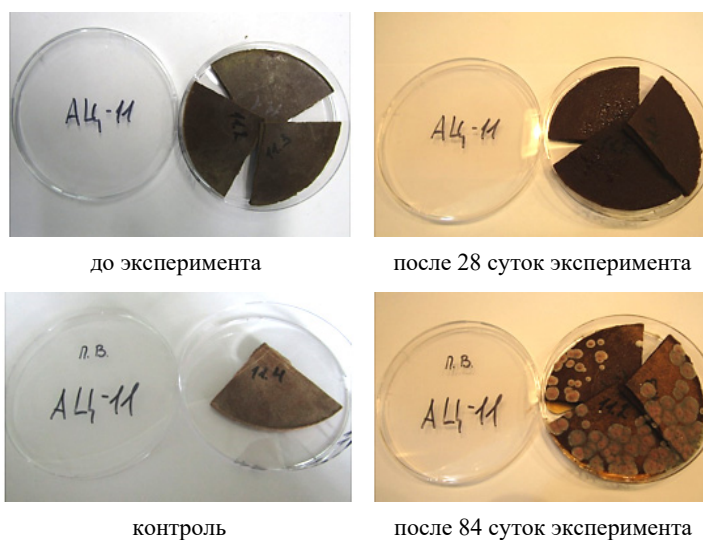
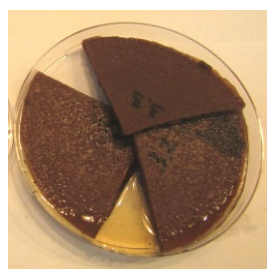
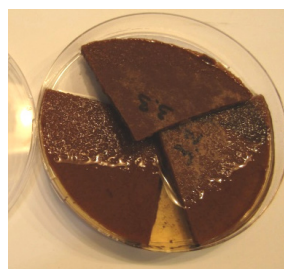


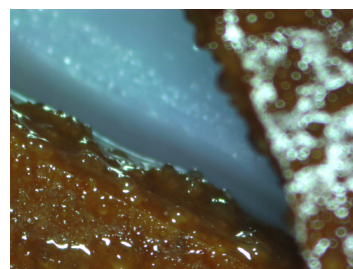
Рис. 3. Изменение внешнего вида образцов композита № 11 в течение эксперимента



28 суток эксперимента



84 суток эксперимента



Микрофотографии поверхности образца после 28 суток выдержки

Рис. 4. Выделение жидкости образцом композита № 3 в ходе эксперимента

В течение первых 28 суток эксперимента большинство образцов не проявляли активного роста колоний грибов. Однако композит № 3 стал исключением: уже спустя 2 недели на его поверхности можно было наблюдать развитый мицелий (рис. 5).

Результаты определения свойств композитов на основе ацетата целлюлозы, древесной муки и полиакрилата натрия приведены в таблице 3. Для установления взаимосвязи между факторами эксперимента был проведен многофакторный корреляционный анализ результаты которого приведены в табл. 4.

Корреляционный анализ подтверждает взаимосвязь между содержанием древесной муки в композите и его

степенью обрастания плесневыми грибами (коэффициент парной линейной корреляции между факторами $r_{xy} = 0,62$). Для двух определяемых в работе показателей биостойкости – потери массы при выдержке в грунте и степени обрастания плесневыми грибами наблюдаются противоположные тенденции относительно содержания древесной муки в композите. Так, первый показатель снижается с увеличением степени наполнения композита древесной мукой, второй возрастает. Снижение показателя потери массы после выдержки в грунте для образцов с высоким содержанием древесной муки объясняется присутствием большого количества лигнина являющегося природным биоцидом.

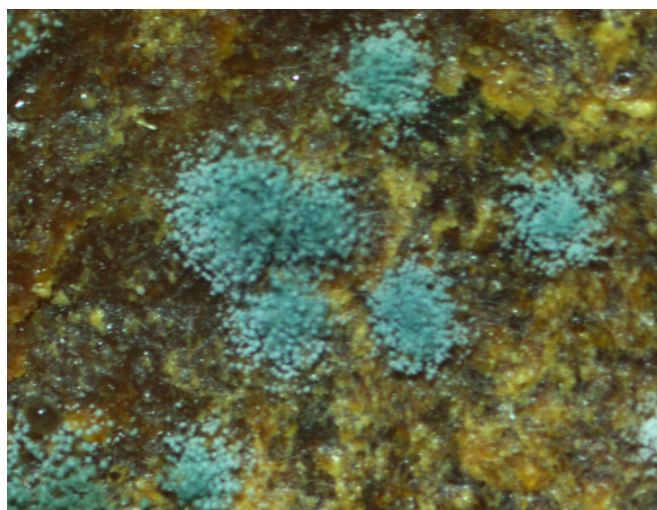
**Рис. 5. Внешний вид образца композита № 3 после 28 суток эксперимента**

Таблица 3
Результаты испытаний свойств композитов

№ опыта	Плотность, г/см ³	Потеря массы за 60 суток выдержки в грунте, %	Степень обрастания образцов плесневыми грибами, баллов	Выделение жидкости из образца в процессе эксперимента
1	1,37	13,9	5	нет
2	1,42	22,7	5	да
3	1,40	28,2	0	да
4	1,40	15,9	5	нет
5	1,40	29,9	4	да
6	1,41	17,6	3	да
7	1,30	20,6	5	нет
8	1,32	10,5	0	нет
9	1,42	28,4	3	да
10	1,40	14,9	3	да
11	1,44	22,2	5	да

Окончание табл. 3

№ опыта	Плотность, г/см ³	Потеря массы за 60 суток выдержки в грунте, %	Степень обрастания образцов плесневыми грибами, баллов	Выделение жидкости из образца в процессе эксперимента
12	1,38	16,1	5	да
13	1,34	9,8	5	нет
14	1,35	18,0	4	нет
15	1,34	11,2	5	нет
16	1,32	1,6	0	нет
17	1,34	20,0	0	нет

Таблица 4

Результаты корреляционного анализа факторов эксперимента

	Содержание ДМ, %	Содержание NPK-удобрения, %	Содержание ПАН, %	Плотность, г/см ³	Потеря массы за 60 сут., %	Степень обрастания, баллов	Выделение жидкости
Содержание ДМ, %	1,00	–	–	–	–	–	–
Содержание NPK-удобрения, %	–0,40	1,00	–	–	–	–	–
Содержание ПАН, %	–0,36	–0,16	1,00	–	–	–	–
Плотность, г/см ³	0,19	0,59	–0,14	1,00	–	–	–
Потеря массы за 60 суток выдержки в грунте, %	–0,30	0,80	0,28	0,59	1,00	–	–
Степень обрастания, баллов	0,62	–0,05	0,05	0,25	0,10	1,00	–
Выделение жидкости	–0,07	0,69	–0,09	0,82	0,63	0,07	1,00

Наличие древесной муки в композите снижает его стойкость к обрастанию плесневыми грибами, поскольку она является органическим материалом, содержащим целлюлозу и лигнин, которые служат питательной средой для микроорганизмов. Кроме того, древесная мука обладает высокой гигроскопичностью, что способствует накоплению влаги, создавая благоприятные условия для роста плесени. Однако ПАН обладает еще большей гигроскопичностью, но практически не оказывает влияние на степень обрастания композитов грибами. Можно предположить, что ключевой особенностью древесной муки, резко снижающей грибостойкость наполненной ей композитов является ее неравномерное распределение в полимерной матрице может привести к образованию микропор и трещин, где оседают споры грибов и задерживается влага. Если древесная мука не обработана антисептическими или гидрофобными добавками, она быстрее разлагается под воздействием микроорганизмов, что дополнительно снижает устойчивость композита к биологическому обрастанию.

Выделение жидкости из образцов композитов в ходе эксперимента показывает корреляцию с содержанием полиакрилата натрия в материале ($r_{xy} = 0,69$). Это позволяет предположить, что именно ПАН выступает катализатором миграции пластификаторов из композита. Благодаря своей высокой полярности он образует прочные межмолекулярные ассоциаты с молекулами пластификаторов, способствуя их вытягиванию из межмолекулярного пространства ацетата целлюлозы в полимерной матрице композита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что состав композитных удобрений на основе ацетата целлюло-

зы, древесной муки и полиакрилата натрия оказывает значительное влияние на их биоразлагаемость и устойчивость к плесневым грибам. Выявлена четкая зависимость между содержанием древесной муки в композитах и их склонностью к грибковому обрастанию: образцы с высокой концентрацией древесного наполнителя демонстрировали наиболее выраженное поражение плесенью. В то же время, повышение содержания полиакрилата натрия способствовало увеличению потери массы образцов в почве, что указывает на его роль в ускорении биодеструкции.

Дополнительно обнаружено, что полиакрилат натрия способствует выделению пластификаторов из композита, что может оказывать влияние на механические свойства материалов в процессе их эксплуатации. Корреляционный анализ подтвердил наличие взаимосвязей между ключевыми параметрами состава и характеристиками биоразложения.

Таким образом, использование биоразлагаемых композитных удобрений на основе ацетата целлюлозы и древесной муки перспективно, однако необходимо учитывать влияние наполнителей на устойчивость к биологическому разложению и грибковому поражению. Для повышения долговечности таких материалов могут быть рекомендованы антисептические или гидрофобные добавки, а также оптимизация состава для контроля скорости разложения. Полученные результаты могут быть полезны при разработке новых композитных удобрений с заданными эксплуатационными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Найда Н. М., Петропавловский А. Г., Комаров А. А. Перспективы использования новых полимерных удобрений «Зеленит» при культивировании козлятника лекарст-

венного // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2010. № 19. С. 14–20.

2. Одинцов А. В., Липин А. Г., Туркова Н. Д. Оценка пролонгирующего эффекта композиционных оболочек гранул минерального удобрения // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2010. Т. 53, № 8. С. 68–70.

3. Amirbekov A. B., Kocherov Ye. N., Kolesnikov A. S. Physico-chemical and instrumental study of complex NPK-fertilizers of the prolonged action // Современный научный вестник. 2016. Vol. 11, No. 1. P. 54–63.

4. Филипович Т. А., Зубец И. В. Биоразлагаемые полимерные упаковочные материалы // Здоровье и окружающая среда. 2009. № 13. С. 462–465.

5. Исследования свойств композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы, полиакрилатом натрия и древесной мукой / П. С. Захаров, М. Я. Данчук, А. Е. Шкуро, А. В. Артемов // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 3. С. 97–105.

6. Получение биокompозитов с полимерной фазой пластифицированных ацетатов целлюлозы с различной степенью ацетилирования / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, К. А. Усова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 4 (394). С. 155–168. DOI 10.37482/0536-1036-2023-4-155-168.

7. de Freitas R. R. M., Senna A. M., Vagner R. Influence of degree of substitution on thermal dynamic mechanical and physicochemical properties of cellulose acetate // Industrial Crops & Products. 2017. Vol. 109. P. 452–458.

8. Puleo A. C., Paul D. R. The effect of degree of acetylation on gas sorption and transport behavior in cellulose acetate // Journal of Membrane Science. 1989. Vol. 47. P. 301–332.

9. Zhanxing M., Kaibing H., Wangshun H. Preparation and characterization of sodium polyacrylate and kaolin composites with superabsorbent properties // Shiyu huagong = Petrochem. Technol. 2005. Vol. 34, № 12. P. 1198–1202.

10. Исследование физико-механических свойств композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы, сенном луговых трав и полиакрилатом натрия / М. Я. Данчук, А. Е. Шкуро, П. С. Захаров, В. В. Глухих // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 3 (63). С. 167–172. DOI 10.18324/2077-5415-2024-3-167-172.

11. ГОСТ 9.048–89. Государственный стандарт Союза ССР. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. М. : Издательство стандартов, 1990.

12. Мичуров Д. М., Шкуро А. Е., Глухих В. В. Исследование физико-механических свойств композитов с полимерной фазой полилактида и кострой конопля // Вестник Технологического университета. 2024. № 1. С. 59–63. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_1_59.

REFERENCES

1. Najda N. M., Petropavlovskij A. G., Komarov A. A. Perspektivy ispol'zovaniya novykh polimernykh udobrenij

“Zelenit” pri kultivirovanii kozlyatnika lekarstvennogo // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. № 19. S. 14–20.

2. Odincov A. V., Lipin A. G., Turkova N. D. Ocenka prolongiruyushchego effekta kompozicionnykh obolochek granul mineral'nogo udobreniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya. 2010. T. 53, № 8. S. 68–70.

3. Amirbekov A. B., Kocherov Ye. N., Kolesnikov A. S. Physico-chemical and instrumental study of complex NPK-fertilizers of the prolonged action // Sovremennyy nauchnyy vestnik. 2016. Vol. 11, No. 1. P. 54–63.

4. Filipovich T. A., Zubec I. V. Biorazлагаемые polimernye upakovochnye materialy // Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda. 2009. № 13. S. 462–465.

5. Issledovaniya svojstv kompozitov s polimernoj fazoj acetata cellyulozy, poliakrilatom natriya i drevesnoj mukoj / P. S. Zaharov, M. Ya. Danchuk, A. E. Shkuro, A. V. Artemov // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2023. № 3. S. 97–105.

6. Poluchenie biokompозитов s polimernoj fazoj plastificirovannykh acetatov cellyulozy s razlichnoj stepen'yu acetilirovaniya / A. E. Shkuro, V. V. Gluhih, K. A. Usova [i dr.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2023. № 4 (394). S. 155–168. DOI 10.37482/0536-1036-2023-4-155-168.

7. de Freitas R. R. M., Senna A. M., Vagner R. Influence of degree of substitution on thermal dynamic mechanical and physicochemical properties of cellulose acetate // Industrial Crops & Products. 2017. Vol. 109. P. 452–458.

8. Puleo A. S., Paul D. R. The effect of degree of acetylation on gas sorption and transport behavior in cellulose acetate // Journal of Membrane Science. 1989. Vol. 47. P. 301–332.

9. Zhanxing M., Kaibing H., Wangshun H. Preparation and characterization of sodium polyacrylate and kaolin composites with superabsorbent properties // Shiyu huagong = Petrochem. Technol. 2005. Vol. 34, № 12. P. 1198–1202.

10. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv kompozitov s polimernoj fazoj acetata cellyulozy, senom lugovykh trav i poliakrilatom natriya / M. Ya. Danchuk, A. E. Shkuro, P. S. Zaharov, V. V. Gluhih // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2024. № 3 (63). S. 167–172. DOI 10.18324/2077-5415-2024-3-167-172.

11. GOST 9.048–89. Gosudarstvennyj standart Soyuz SSR. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie. Metody kontrolya. M. : Izdatel'stvo standartov, 1990.

12. Michurov D. M., Shkuro A. E., Gluhih V. V. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv kompozitov s poli-mernoj fazoj polilaktida i kstroj konopli // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2024. No. 1. S. 59–63. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_1_59.

© Захаров П. С., Артёмов А. В., Шкуро А. Е., Юрьев Ю. Л., 2025