

УДК 691.175.746: 621.315.614.64

ПРИМЕНЕНИЕ ХВОЙНОГО ЭКСТРАКТА ЕЛИ КОЛЮЧЕЙ *PICEA PUNGENS* ДЛЯ БУМАЖНО-ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© **А.Н. Иванкин*, О.А. Борисова**

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), ул. 1-я Институтская, 1, Мытищи, 141005, Россия, aivankin@inbox.ru

Представлены результаты исследований по получению нового бумажно-полимерного композита на основе стирола с добавлением ингибирующего биокоррозию хвойного экстракта. Описана методология получения экстракта из растительного сырья, в качестве которого использовали хвою ели колючей *Picea pungens*. Проведена проверка его антисептической активности по отношению к модельной стартовой дрожжевой культуре *Saccharomyces cerevisiae*, а также проведена оценка его влияния на экоустойчивость в составе полученного композиционного материала. Показано, что разложение полученного полимерного композита во влажной почве значительно замедляется, а его свойства при нахождении во влажной почве в летнем периоде сохраняются в течение трех месяцев, против частичного распада аналогичного композита без добавок и полной деградации чистой бумажной основы. Описано получение композита на основе бумаги и стирола с добавлением полученного экстракта. Проведены испытания на прочность композиционного материала и показано, что предел его прочности при разрыве составлял 22–48 МПа, относительное удлинение – 3–4% против 17–19 МПа и 2–3% – для немодифицированной бумажной основы в зависимости от вида использованной бумажной основы, что подтверждает следующее: новый материал обладает повышенными физико-механическими характеристиками. Показано, что за счет содержащихся в хвойном экстракте органических соединений наблюдается образование более гибких композитов со стиролом. Так, число изгибов материала при поперечном изгибе шаблона композита с хвойным экстрактом превышало 10 раз против 5 для бумаги, а количество неразрушающих изгибов при продольном изгибе составляло более 60 раз против 54 для стирол-бумажного композита и менее 35 для бумажной основы плотностью 50 г/м². Показано, что достаточно устойчивый к быстрому разложению в почве и одновременно являясь относительно экологически чистым материалом, полученные бумажно-полимерные композиционные материалы достаточно перспективны для использования в качестве упрочненного упаковочного материала и специальных бумаг. Данное исследование позволяет существенно расширить область применения материалов, получаемых из растительного сырья.

Ключевые слова: *Picea pungens*, хвойный экстракт, антисептические свойства, стирол, полимеризация, бумажно-полимерный композит, биodeградация.

Для цитирования: Иванкин А.Н., Борисова О.А. Применение хвойного экстракта ели колючей *Picea pungens* для бумажно-полимерных материалов // Химия растительного сырья. 2026. №2. С. 425–435. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260215788>.

Введение

Древесное сырье – возобновляемый источник получения важных для промышленности и народного хозяйства материалов, в том числе целлюлозы, которая используется в производстве бумаги. Изделия на основе бумажной массы не характеризуются высокими физико-механическими свойствами, поэтому с целью их улучшения проводятся исследования по модификации свойств целлюлозных материалов. Наиболее распространенным методом является комбинирование бумажной основы с синтетическими и природными полимерными материалами [1, 2].

Выпускающиеся в настоящее время синтетические полимеры обладают существенным недостатком – для них характерно очень медленное разложение в окружающей среде с выделением токсичных для живых организмов соединений [2]. Возможная замена их материалами из возобновляемого растительного сырья, например, бумажными как экологически чистыми, также проблему не решает, поскольку бумага легко подвергается биоразложению, и во многих отраслях промышленности ее использование затруднительно.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Комбинирование синтетических и природных материалов существенно повышает прочностные характеристики последних [3, 4]. Сейчас в промышленности, особенно в индустрии упаковки, широко распространены бумажные и картонные коробки, а также тара, упрочненные полимерами [3, 5].

Возможность варьирования свойств целлюлозосодержащих материалов за счет использования биопротекторов позволяет вести разработку новых композиционных материалов с длительными сроками эксплуатации [1, 6].

В качестве биопротекторов возможно использовать экстракты из растительного сырья, в том числе из древесной зелени, которая содержит множество биологически активных веществ [7, 8]. Особенно богата ими хвойная зелень. В хвое древесных пород содержатся эфирные масла, притом состав эфирного масла для каждого хвойного дерева индивидуален [8–12] (табл. 1).

Из данных таблицы 1 видно, что основу химического состава масел, получаемых из хвойной зелени, составляют монотерпены (α -пинен, β -пинен, Δ^3 -карен, фелландрен) и сесквитерпены (α -кариофиллен, β -кариофиллен, γ -кадинен, γ -терпинен и др.). Также значительна доля протекторных биологически активных веществ, типа борнилацетата – сложного эфира борнеола и уксусной кислоты – обладающего высокой антисептической активностью [13].

Для озеленения городов в нашей стране в качестве интродуцентов, устойчивых к неблагоприятным условиям, используются такие древесные виды, как туя западная *Thuja occidentalis*, биота восточная *Platycladus orientalis*, и ель колючая или голубая *Picea pungens* [14]. Последняя вызывает особый интерес, так как, в отличие от туи и биоты, является недолговечной декоративной породой [15].

Таблица 1. Основной состав эфирных масел хвойной зелени хвойных древесных пород России, %масс.

Наименование	Сосна обыкновенная <i>Pinus sylvestris</i>	Ель европейская <i>Piceaabies</i>	Лиственница сибирская <i>Larix sibirica</i>	Пихта сибирская <i>Abies sibirica</i>	Кедр сибирский <i>Pinus sibirica</i>
α -Пинен	27.89	3.06	14.82	–	26.84
Камфен	3.92	2.38	0.72	–	0.59
β -Пинен	–	1.39	8.04	–	1.19
Фелландрен	2.38	–	4.21	–	0.67
Мирцен	1.03	1.43	2.99	–	0.6
Δ^3 -Карен	9.34	0.08	22.51	16.86	0.53
Лимонен	1.45	6.01	–	8.67	11.41
Δ^4 -Карен	0.67	–	–	2.66	–
Борнилацетат	1.11	22.46	1.26	44.13	0.83
Бурбонен	1.19	–	0.54	–	–
α -Кариофиллен	–	1.01	2.48	5.79	0.75
β -Кариофиллен	6.61	–	–	–	–
γ -Кадинен	9.47	–	11.47	–	5.32
Δ -Кадинен	18.58	–	–	–	–
Аромадендрен	0.95	0.05	–	–	0.71
β -Цимен	–	–	0.93	–	–
γ -Терпинен	–	–	1.69	–	0.12
Ментол	–	–	1.37	–	–
Хамазулен	–	–	1.01	–	–
Пинокарвон	–	–	0.51	–	–
эндо-Борнеол	–	–	–	6.95	–
Эвкарвон	–	–	–	6.05	–
Геранилацетат	–	–	–	1.59	–
Гумулен	–	2.54	–	4.35	0.35
Трициклен	–	–	–	–	0.12
Бензиловый спирт	–	–	–	–	0.28
Изотерпинолен	–	–	–	–	1.07
Терпинен-4-ол	–	0.6	2.88	–	0.18
α -Терпинеол	–	0.6	–	–	1.4
Метилтимоловый эфир	–	–	–	–	0.33
α -Аморфен	–	–	–	–	4.71
α -Бисаболол	–	–	–	–	4.61
Квинолинедол	–	10.23	–	–	–

Наличие достаточно доступного растительного сырья, содержащего обширный спектр органических веществ, обладающих химической и биологической активностью, позволяет рассматривать, в частности, хвойные древесные породы в качестве перспективных модификаторов свойств новых материалов.

Растительное сырье является важным возобновляемым источником для получения различных «экологически чистых» материалов. Основным компонентом, возникающим в процессе переработки растений, является целлюлоза, из которой получают, прежде всего, бумагу и бумажные изделия, используемые в основном для печати и упаковки [16, 17].

Изделия на основе бумажной массы, как правило, не обладают хорошими прочностными свойствами, поэтому проводятся исследования в попытке модифицировать их прочностные характеристики. В качестве упрочняющих модификаторов чаще всего используют синтетические полимеры [18–20].

Композиционные материалы на основе бумажной массы, получаемые из природного биополимера – целлюлозы, являются достаточно быстро биоразлагаемыми и, как правило, не представляют экологической опасности. Однако подверженность бумажных материалов ускоренной биокоррозии в ряде случаев является существенным недостатком, ограничивая срок их службы. Придание повышенной биоустойчивости может быть полезным фактором для длительной эксплуатации целевого материала [21, 22].

По данным мировой литературы, различные исследования показывают, что модификация природных биополимеров путем их совмещения с полимерной структурой синтетических полимеров позволяет сохранять в течение необходимого времени приемлемые физико-механические свойства материалов и может обеспечивать их длительное использование. В этом случае особую роль играет возможность варьирования прочностных свойств композитов за счет целенаправленного армирования целлюлозосодержащих материалов [23].

Цель настоящего исследования – получение и испытание нового бумажно-полимерного композита с добавлением в качестве биопротектора хвойного экстракта, как экологически чистой добавки из доступного растительного сырья.

Экспериментальная часть

В качестве реактивов использовали этанол, метанол, хлороформ, стирол квалификации р.р.а. производства Sigma-Aldrich и Merck (Германия), а также дрожжи хлебопекарные по ГОСТ Р 54731-2011.

Экстракт получали из хвои ели колючей *Picea pungens*. Выбор данной древесной породы как сырья обусловлен ее распространенностью в России. Ель колючая как декоративно-парковая культура используется в городских посадках, однако декоративные свойства сохраняются только до достижения деревом 30 лет, после чего оно подлежит замене [24, 25]. Вырубленные старые посадки ели колючей являются дешевым сырьем для получения экстрактов из древесной зелени и дальнейшего их применения.

Хвойный экстракт получали методом экстрагирования в аппарате Сокслета в течение 4 ч. В качестве экстрагента использовали спирт этиловый [26].

Состав экстракта хвои ели колючей изучали с помощью метода масс-спектрометрического анализа с использованием газового хроматографа 7890А с масс-спектрометрическим детектором 5975С VLMSD производства Agilent Technologies (USA). Образец экстракта подвергали обработке смесью 1 мл хлороформа и 1 мл метанола по модифицированному методу Фолча в течение суток [26]. Условия хроматографирования были следующие: градиент температуры колонки в термостате – со 100 до 260 °С при скорости 10 °С/мин; температура инжектора – 250 °С, детектора – 300 °С. Скорость потока водорода из генератора – 35 см³/мин; поток азота – 20 см³/мин; деление потока 1 : 100, время анализа – 30 мин. Результаты хроматографирования обрабатывались в автоматической базе поиска и идентификации данных NIST08 MS Library с вероятностью соотнесения пиков к конкретным веществам более 65%.

Экстракт перед нанесением на бумажно-полимерный композит проверялся на антисептическую активность, в качестве тест-культур использовались дрожжи хлебопекарные *Saccharomyces cerevisiae*. Проверка проводилась на чашках Петри с плотной агаровой средой. На поверхность среды наносили тест-культуру, обрабатывали экстрактом и оставляли на проращивание в течение 5–7 суток. Подсчет количества образовавшихся колоний осуществляли визуально с использованием автоматической программы Motic Images 2000 по описанной методологии [27, 28].

Далее изготавливали образцы бумажно-полимерного композита, в рецептуру которого вводили целевой экстракт. Для модификации бумаги использовали стирол – недорогое и распространенное в химической

промышленности вещество. Стирол полимеризуется при достаточно низких температурах менее 100 °С, что тоже было одним из критериев при выборе полимерной матрицы.

В жидкий стирол вводили жидкий хвойный экстракт в количестве до 20% от объема полимеризационной смеси и пропитывали им в несколько слоев бумажную основу, затем проводили полимеризацию при температуре 80 °С. В случае необходимости операцию полимеризации смеси повторяли. Толщина получаемого композита, в зависимости от количества нанесенного стирола, увеличивалась в 2–4 раза по сравнению с исходным бумажным носителем.

Проверку физико-химических параметров полученного материала проводили на разрывной машине Instron 3369 (USA) по описанной методике [29].

Хвойный экстракт вводился в композит с целью снижения подверженности бумажной основы к быстрому биоразложению. Для проверки полученные образцы помещали в почвенный грунт и выдерживали в течение летнего периода, периодически фиксируя происходящие изменения по описанному методу [30].

Обсуждение результатов

На рисунке 1 представлен фрагмент хроматограммы базовых компонентов экстрагированных летучих веществ ели.

Хроматомасс-спектрометрический анализ показал, что в полученных экстрактах хвои ели колочей содержится более 300 органических веществ, основные вещества с наибольшей массовой долей содержания приведены в таблице 2.

Среди этих веществ – спирты, производные диенов, карбоновых кислот, фенолы и фенольные соединения, являющиеся токсикантами для множества микроорганизмов [28]. Также выяснилось, что состав терпенов и терпеноидов близок к составу ели европейской. Данные вещества обладают высокой биологической активностью. Весь комплекс данных соединений способен определить бактериостатический эффект.

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, во всех видах сырья растительного хвойного происхождения в значительных количествах содержатся α -пинен, камфен и замещенные карены, наличие которых во многом в дальнейшем и обеспечивает реализацию бактериостатичности [31, 32].

Эти же соединения, а также некоторые другие обнаруженные в результате хроматомасс-спектрометрии хвойного экстракта (табл. 2), в частности бензо[h]хинолин и 1H-индол способны выступать в качестве соинициаторов радикальной полимеризации, что в дальнейшем должно способствовать эффективному получению бумажно-полимерного композита [32, 33].

Результаты теста на антисептические свойства экстракта были следующие: количество проросших колоний тест-культуры дрожжей, выращенных в присутствии экстракта, составляло не более 15–20% по сравнению с контрольной чашкой Петри без нанесения хвойного экстракта (рис. 2).

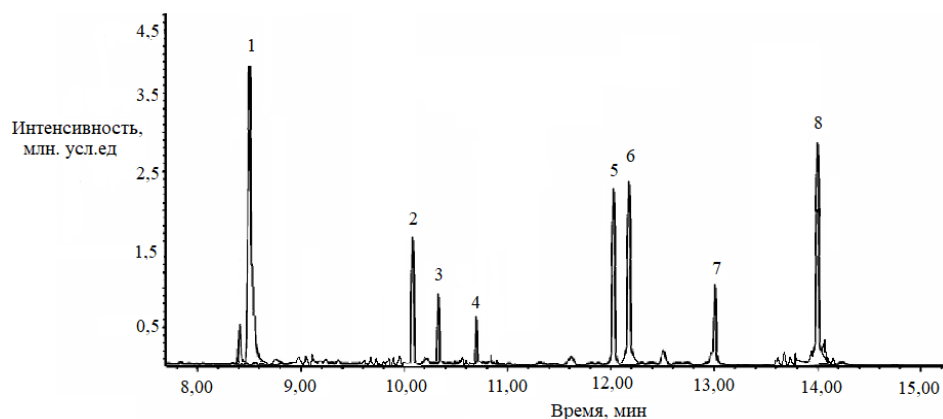


Рис. 1. Фрагмент масс-хроматограммы спиртового экстракта ели: 1 – метанамин; 2 – 2-ацетоскиметил-3-метоксикарбонилбифенилен; 3 – индол; 4 – флуорен-карбоксильная кислота; 5 – 1-бензазирен-1-карбоксильная кислота; 6 – 4-[2-(5-нитро-2-бензоксазолил)этилен]фенол; 7 – 1-диметил(фенил)силилоксипентан; 8 – ацетамин

Таблица 2. Основные вещества спиртового экстракта ели колочей с уровнем содержания более 0.8% (n=3, p=0.95)

№	Наименование*	CAS №	Содержание в высушенном экстракте хвои, %	Время удержания хроматографического пика, %
1	Метанамин	001117-97-1	21.26	6.530
2	Ацетамид	1000316-84-8	2.52	19.196
3	Фенол, 4-[2-(5-нитро-2-бензоксазол-1)этинил]-	319490-19-2	2.24	17.831
4	1-Бензазирен-1-карбоксикислота	1000197-90-8	1.80	18.469
5	2-(Ацетоксиметил)-3(метоксикарбонил)бифенилен	093103-70-9	1.62	19.548
6	m-Гемипикангидрид	004821-94-7	1.59	19.024
7	1-Диметил(фенил)силоксипентан	1000280-41-7	1.55	17.706
8	1H-Индол	013228-36-9	1.42	17.359
9	9H-Флуорен-2-карбоксикислота	1000316-02-1	1.44	18.931
10	Бензо[h]хинолин	000605-67-4	1.39	18.054
11	Бензен-1,3-дикарбоксикислота	181425-91-2	1.29	18.775
12	Бицикло[4.1.0]гептн-2-он	014845-40-0	1.25	17.655
13	Бензол	000781-33-9	1.18	19.766
14	3-Трифторметил-7-фенотиазон	093212-81-8	1.15	18.158
15	5-(2-Оксо-6-фенил-1,2-дигидропиримидинил-4)урацил	071167-21-0	1.11	19.455
16	4-Изотиазолкарбоксикислота	004886-15-1	1.02	17.546
17	Пиридин	005048-08-8	0.94	19.377
18	Уксусная кислота	1000193-09-0	0.93	17.042
19	1(3H)-Изобензофуранон	1000350-76-1	0.91	17.992
20	Силан	1000347-07-6	0.89	18.578
21	Мегестрола ацетат	000595-33-5	0.89	18.853
22	p-(Фенилазо)ацетанилид	004128-71-6	0.85	18.698
23	Тетрадекановая кислота	1000279-46-9	0.84	17.265
24	2-Амино-4-гидрокси-6,8-диметил-7(8H)-птеридинон	025477-64-9	0.82	17.172

* даны наименования веществ в соответствии с номенклатурой IUPAC.



Рис. 2. Рост дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в присутствии 0.1% веществ спиртового хвойного экстракта

Это говорит о достаточно высокой ингибирующей способности вытяжки из хвои ели колочей на рост микроорганизмов. Количественное микрофотометрирование роста тест-культуры под влиянием 0.1–1% масс. спиртового хвойного экстракта приводило к ингибированию скорости роста тестовой микрокультуры в 10–50 раз.

Далее, как указывалось выше, полученный экстракт добавляли в стирол при изготовлении композита. При проведении испытаний композита на прочность при разрыве были получены следующие данные (табл. 3).

Как видно из данных таблицы 3, поверхностно-глубинное армирование бумажной основы полимеризуемой смесью стирола со спиртовым хвойным экстрактом приводило к существенному упрочнению получаемого композиционного материала по сравнению с исходными бумажными носителями плотностью 50 и 80 г/м².

Материал получался достаточно гибким. Испытания показали, что физико-механические параметры бумаги с нанесенным модифицированным полимером повышались более чем в 1.5 раза, по сравнению с исходной бумажной основой. Аналогичные результаты при введении природных пластификаторов наблюдались ранее [34–36].

Как известно, синтетические полимеры зачастую обладают достаточно жесткой молекулярной структурой, и для придания большей гибкости полимерному материалу используют пластифицирующие вещества, которые позволяют получать более пластичные макроструктуры. Это оказывает положительное влияние на гибкость изделий [37].

Одним из таких пластификаторов, в частности для пластиков на основе полистирола, является дибутилфталат [38].

В органических экстрактах хвойных пород присутствует достаточное количество органических соединений схожей химической структуры (табл. 1 и 2), которые могут быть эффективными пластификаторами для высокомолекулярных систем.

В таблице 4 представлены данные испытаний устойчивости бумажно-полимерных композитов к изгибанию под нагрузкой по сравнению с исходной бумажной подложкой.

Хвойные экстракты обладают известной бактериостатичностью, однако для прямой оценки устойчивости полученных материалов к биокоррозии под воздействием микрофлоры была изучена их подверженность распаду в природной среде, в частности при нахождении в почвенном слое. Образцы помещали в почву на глубину около 20 см и выдерживали в течение нескольких месяцев в летний период, фиксируя происходящие изменения.

Известно, что срок разложения бумаги в почве в зависимости от влажности и температуры может составлять от нескольких месяцев до 5 лет [39].

В результате проведенных испытаний было установлено, что бумажная основа за 3 летних месяца в контакте с почвой в результате хранения потеряла в массе более 10% и имела практически полностью разрушенную геометрическую структуру.

Образцы с полистиролом без включенного хвойного экстракта характеризовались потерей массы не более 1–2% с определенным сохранением внешней формы.

Целевые бумажно-полимерные композиты, полученные с использованием хвойных экстрактов, практически не имели потерь в массе и характеризовались незначительными изменениями в геометрических размерах образцов, что позволяет оценивать их устойчивость во влажном почвенном слое как достаточно высокую.

Таблица 3. Результаты испытаний бумажно-полимерного композита на прочность на разрыв при растяжении образцов вдоль волокон ($n=3$, $p=0.95$)

№	Образец	Предел прочности при разрыве, МПа	Относительное удлинение $\Delta l/l_0$, %
1	Бумага плотностью 50 г/м ² и 1 слой стирола, с экстрактом	28	4
2	Бумага плотностью 50 г/м ² и 2 слоя стирола, с экстрактом	22	3
3	Крафт-бумага плотностью 80 г/м ² и 2 слоя стирола, с экстрактом	48	4
4	Бумага плотностью 50 г/м ²	17	3
5	Крафт-бумага плотностью 80 г/м ²	19	2

Таблица 4. Механическая устойчивость композитов к изгибанию ($n=5$, $p=0.95$)

Наименование	Бумажный носитель плотностью 50 г/м ²	Бумажно-полимерный композит с однослойным нанесением полистирола	Бумажно-полимерный композит с однослойным нанесением полистирола и бактерицидного экстракта
Число изгибов при поперечном изгибе шаблона композита, шт	5	7	10
Число изгибов при продольном изгибании, шт/	35	54	66

Выводы

Таким образом, в результате проведенной работы были получены новые бумажно-полимерные композиты с использованием в качестве биопротектора хвойного экстракта.

Испытания физико-механических свойств композитов показали, что механическая прочность на разрыв и гибкость армированного материала возрастала более, чем в 1.5–2 раза.

Полученные композиты с включенным хвойным экстрактом существенно превосходили исходные бумажные материалы по устойчивости к биоразложению.

Хвойные экстракты имеют большую перспективу как антисептические и ингибирующие биокоррозию добавки к бумажно-полимерным материалам, используемым для производства упрочненной упаковки и специализированных бумаг.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Мытищинского филиала Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы предоставите соответствующие ссылки на автора(ов), источник и Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Odunlami O.A., Amoo T.E., Adisa H.A., Elehinfafe F.B., Oladimeji T.E. Application of mass transfer in the pulp and paper industry – overview, processing, challenges, and prospects // Results in Engineering, 2023. Vol. 20. 101498. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101498>.
2. Mukherjee C., Varghese D., Krishna J.S. Recent advances in biodegradable polymers. Properties, applications and future prospects // European Polymer Journal. 2023. Vol. 192, no. 6. 112068. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112068>.
3. Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Веревкин А.Н., Бабурина М.И. Гидролиз компонентов растительной биомассы как универсальный механизм экобезопасности природных и синтетических материалов // Лесной вестник. 2022. Т. 26, №5. С. 120–127. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-5-120-127>.
4. Шкуро А.Е., Глухих В.В., Кулаженко Ю.М., Захаров П.С. Биоразлагаемые композиты с полимерной фазой поливинилхлорида и лигноцеллюлозными наполнителями // Resources and Tecnology. 2023. №3. С. 1–14. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2023.6923>.
5. Кремнева А.В., Коляда Л.Г. Получение и результаты испытания полимерно-бумажных композитов из отходов упаковки на расслаивание и растяжение // Качество в обработке материалов. 2015. №1 (3). С. 54–58.
6. Pereira A., Fernandes V., Delerue-Matos C., Freitas V., Mateus N., Oliveira J. Exploring acylated anthocyanin-based extracts as a natural alternative to synthetic food dyes: Stability and application insights // Food Chemistry. 2024. Vol. 7. 140945. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140945>.
7. Yahaya I., Fosu G.S., Hamadu A. Phytochemical screening of bioactive compounds and antimicrobial activity of different extracts of *Syzygium samarangense* leaves // Pharmacological Research – Natural Products. 2024. Vol. 9. 100059. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100059>.
8. Гуляев Д.К., Новикова В.В., Белоногова В.Д. Антибактериальная и противогрибковая активность эфирного масла древесной зелени ели обыкновенной и его отдельных фракций // Медицинский альманах. 2015. №4 (39). С. 213–214.
9. Чекушкина Н.В., Невзорова Т.В., Ефремов А.А. Фракционный состав эфирного масла сосны обыкновенной // Химия растительного сырья. 2008. №2. С. 87–90.
10. Чекушкина Н.В., Шаталина Н.В., Ефремов А.А. Состав эфирного масла лиственницы сибирской // Химия растительного сырья. 2008. №3. С. 103–105.
11. Гуляев Д.К., Яковлева Е.И., Машенко П.С., Солодников С.Ю., Белоногова В.Д. Антигипоксическая активность фракций эфирного масла пихты сибирской // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 273–280. <https://doi.org/10.14258/jscrpm.2020047321>.
12. Нарчуганов А.Н., Струкова Е.Г., Ефремов А.А. Компонентный состав эфирного масла сосны сибирской (*Pinussibirica*) // Химия растительного сырья. 2011. №4. С. 103–108.

13. Сергеева И.Ю., Пермьякова Л.В., Романенко В.О., Верещагин А.Л., Лашицкий, С.С. Использование активных углей для дезодорирования флорентинной воды // Химия растительного сырья. 2023. №1. С. 351–360. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.20230111113>.
14. Потапова Е.В. Проблема озеленения г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. 2013. Т. 6, №1. С. 161–173.
15. Viliani L., Scott E., Nielsen S.E. Composite effects of forest harvests and seismic lines influence re-establishment of trees and shrubs in Alberta's mesic upland boreal forest // Forest Ecology and Management. 2025. Vol. 580, no. 3. Article 122506. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122506>.
16. Jagaba A.H., Birniwa A.H., Usman A.K., Muazu N.D., Yaro N.S., Soja U.B., Abioye K.J., Almabashi N.M., Aldhawi B.N., Noor A., Lawal I.M. Trend and current practices of coagulation-based hybrid systems for pulp and paper mill effluent treatment: Mechanisms, optimization techniques and performance evaluation // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 11. 139543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139543>.
17. Wang F., Wang L., Zhang X., Ma S., Zhao Z. Enhancement of oil resistance of cellulose packaging paper for food application by coating with materials derived from natural polymers // Journal of Food Engineering. 2022. Vol. 332, no. 11. 111039. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111039>.
18. Moreira C.M., Scala-Benuzzi M.L., Takara E.A., Pereira S.V., Regiart M., Soler-Illia G.J., Raba J., Messina G.A. Paper surface modification strategies employing N-SBA-15/polymer composites in bioanalytical sensor design // Talanta. 2019. Vol. 200, no. 8. Pp. 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.03.051>.
19. Valente M., Tirillò J., Quitadamo A., Santulli C. Paper fiber filled polymer. Mechanical evaluation and interfaces modification // Composites Part B: Engineering. 2017. Vol. 110, no. 2. Pp. 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.013>.
20. Samyn P., Deconinck M., Schoukens G., Stanssens D., Vonck L. Modifications of paper and paperboard surfaces with a nanostructured polymer coating // Progress in Organic Coatings. 2010. Vol. 69, no. 12. Pp. 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.08.008>.
21. Bu Q., Zhao S., Liu X., Bao J. Facile electro-exfoliation of binder-free expanded graphite paper electrode at low-potential in alkaline environment for all-solid-state capacitor // Journal of Energy Storage. 2022. Vol. 50, no 6. 104254. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104254>.
22. Bu Q., Cao X., Li X., Bao J. Synchronous synthesis of electro-exfoliated/oxidized binder-free expanded graphite paper at low potential for solid-state capacitor // Journal of Energy Storage. 2022. Vol. 52 B, no. 8. 104994. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104994>.
23. Серова В.Н., Хасанов А.И. Свойства композиционных материалов на основе картона и полимерных пленок // Клеи. Герметики. Технологии. 2023. №4. С. 18–21. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2023-4-18-21>.
24. Бухарина И.Л., Поварнищина Т.М. Эколого-биологическая характеристика ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях городской среды (на примере г. Ижевска) // Самарская Лука. 2008. Т. 17, №3 (25). С. 619–625.
25. Коляда Н.А. Об использовании североамериканских хвойных растений в озеленении городов России // Вестник КрасГАУ. 2010. №9. С. 73–76.
26. Иванова Н.И. Газовый хроматограф для медицинских исследований // Известия вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, №8. С. 674–679. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2021-64-8-674-679>.
27. Кузнецова Т.Г., Иванкин А.Н., Куликовский А.В. Наносенсорный анализ мясного сырья и растительных объектов: монография. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013. 224 с.
28. Позднякова Т.А., Бубенчиков Р.А. Изучение антибактериальной активности настоя травы астрагала нутового // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 21, №S2. С. 95–96.
29. Калашник А.В., Сердан А.А., Кошина Н.А., Ионов С.Г. Получение и физико-механические свойства композиционных материалов на основе нанослоистых неорганических матриц // Химия и химическая технология. 2013. Т. 56, №7. С. 12–16.
30. Zarubina A.N., Ivankin A.N. Biodegradable polymer materials based on polyvinyl alcohol, starch, and cellulose derivatives // Polymer Science, Series D. 2024. Vol. 17, no. 2. Pp. 461–465. <https://doi.org/10.1134/S1995421224700795>.
31. Cheng H., Liang M., Dai M., Lu X., Huang Q., Lai F., Ma L., Li W., Liu X. Oxidation characteristics and hazardous of α -pinene, β -pinene and turpentine // Arabian Journal of Chemistry. 2023. Vol. 16, no. 12. 105322. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105322>.
32. Yu A., Sidorenko A.Y., Khalimonyuk T.V., Kurban Y.M., Ilyina I.V., Li-Zhulanov N.S., Patrusheva O.S., Aho A., Heinmaa I., Volcho K.P., Salakhutdinov N.F., Murzin D.Y., Agabekov V.E. Catalytic synthesis of heterocyclic compounds with a cineole moiety based on α -pinene // Applied Catalysis A: General. 2025. Vol. 691, no. 2. 120070. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2024.120070>.
33. Jagtap R.A., Verma S.K., Punji B. MnBr₂-catalyzed direct and site-selective alkylation of indoles and benzo[h]quinoline // Organic Letters. 2020. Vol. 22, no. 12. Pp. 4643–4647. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.0c01398>.
34. Мусина Л.Р., Галиханов М.Ф. Практические решения повышения физико-механических и барьерных свойств целлюлозно-бумажного материала с применением полимерного покрытия // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №2. С. 86–90.
35. Давыдов И.Б., Красная И.А., Пантюхина Е.В. Особенности, основные виды и область применения пищевой упаковки на основе бумаги // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. №2. С. 388–394.

36. Петрова А.В. Экоупаковка: инновационные решения // Вестник Академии знаний. 2022. №49 (2). С. 216–220.
37. Zhang H., Huang D., Zhang X. Peridynamic modeling of elastic-plastic ductile fracture // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2024. Vol. 418B, no. 1. 116560. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116560>.
38. Yao S., Cao H., Arp H.P. The role of crystallinity and particle morphology on the sorption of dibutyl phthalate on polyethylene microplastics: Implications for the behavior of phthalate plastic additives // Environmental Pollution. 2021. Vol. 283, no. 8. 117393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117393>.
39. Bao Y., Dolfing J., Chen R., Li Z., Lin X., Feng Y. Trade-off between microbial ecophysiological features regulated by soil fertility governs plant residue decomposition // Soil and Tillage Research. 2023. Vol. 229, no. 5. 105679. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105679>.

Поступила в редакцию 10 сентября 2024 г.

После переработки 15 апреля 2025 г.

Принята к публикации 14 мая 2026 г.

*Ivankin A.N.**, *Borisova O.A.* APPLICATION OF CONIFEROUS EXTRACT OF PRICKLY SPRUCE *PICEA PUNGENS* FOR PAPER-POLYMER MATERIALS

*Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University (National Research University),
1-ya Institutskaya st., 1, Mytishchi, 141005, Russia, aivankin@inbox.ru*

The article presents the results of studies on obtaining a new paper-polymer composite based on styrene with the addition of a biocorrosion-inhibiting coniferous extract. The methodology for obtaining the extract from plant raw materials, which used the needles of the prickly spruce *Picea pungens*, is described. Its antiseptic activity was tested in relation to the model starting yeast culture *Saccharomyces cerevisiae*, and its effect on eco-stability in the composition of the obtained composite material was assessed. It was shown that the decomposition of the obtained polymer composite in moist soil is significantly slowed down, and its properties when in moist soil in the summer are preserved for three months, against partial decomposition of a similar composite without additives and complete degradation of a pure paper base. The preparation of a composite based on paper and styrene with the addition of the obtained extract is described. The strength tests of the composite material were conducted and it was shown that its tensile strength was 22–48 MPa, relative elongation was 3–4% versus 17–19 MPa and 2–3% for the unmodified paper base depending on the type of paper base used, which confirms that the new material has improved physical and mechanical properties. It was shown that due to the organic compounds contained in the pine extract, more flexible composites with styrene are formed. Thus, the number of material bends during transverse bending of the composite template with pine extract exceeded 10 times versus 5 for paper, and the number of non-destructive bends during longitudinal bending was more than 60 times versus 54 for the styrene-paper composite and less than 35 for a paper base with a density of 50 g/m². It is shown that the obtained paper-polymer composite materials, being sufficiently resistant to rapid decomposition in the soil and at the same time being a relatively environmentally friendly material, are quite promising for use as reinforced packaging material and special papers. This study allows us to significantly expand the scope of application of materials obtained from plant raw materials.

Keywords: *Piceapungens*, coniferous extract, antiseptic properties, styrene, polymerization, paper polymer composite, biodegradation.

For citing: Ivankin A.N., Borisova O.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 2, pp. 425–435. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260215788>.

* Corresponding author.

References

1. Odunlami O.A., Amoo T.E., Adisa H.A., Elehinafe F.B., Oladimeji T.E. *Results in Engineering*, 2023, vol. 20, 101498. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101498>.
2. Mukherjee C., Varghese D., Krishna J.S. *European Polymer Journal*, 2023, vol. 192, no. 6, 112068. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112068>.
3. Ivankin A.N., Zarubina A.N., Verevkin A.N., Baburina M.I. *Lesnoy vestnik*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 120–127. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-5-120-127>. (in Russ.).
4. Shkuro A.Ye., Glukhikh V.V., Kulazhenko Yu.M., Zakharov P.S. *Resources and Tecnology*, 2023, no. 3, pp. 1–14. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2023.6923>. (in Russ.).
5. Kremneva A.V., Kolyada L.G. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2015, no. 1 (3), pp. 54–58. (in Russ.).
6. Pereira A., Fernandes V., Delerue-Matos C., Freitas V., Mateus N., Oliveira J. *Food Chemistry*, 2024, vol. 7, 140945. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140945>.
7. Yahaya I., Fosu G.S., Hamadu A. *Pharmacological Research – Natural Products*, 2024, vol. 9, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100059>.
8. Gulyayev D.K., Novikova V.V., Belonogova V.D. *Meditinskiy al'manakh*, 2015, no. 4 (39), pp. 213–214. (in Russ.).
9. Chekushkina N.V., Nevzorova T.V., Yefremov A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 2, pp. 87–90. (in Russ.).
10. Chekushkina N.V., Shatalina N.V., Yefremov A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 3, pp. 103–105. (in Russ.).
11. Gulyayev D.K., Yakovleva Ye.I., Mashchenko P.S., Solodnikov S.Yu., Belonogova V.D. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 273–280. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047321>. (in Russ.).
12. Narchuganov A.N., Strukova Ye.G., Yefremov A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 4, pp. 103–108. (in Russ.).
13. Sergeeva I.Yu., Permyakova L.V., Romanenko V.O., Vereshchagin A.L., Lashitskiy, S.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 1, pp. 351–360. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230111113>. (in Russ.).
14. Potapova Ye.V. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 161–173. (in Russ.).
15. Viliani L., Scott E., Nielsen S.E. *Forest Ecology and Management*, 2025, vol. 580, no. 3. Article 122506. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122506>.
16. Jagaba A.H., Birniwa A.H., Usman A.K., Muazu N.D., Yaro N.S., Soja U.B., Abioye K.J., Almabashi N.M., Aldhawi B.N., Noor A., Lawal I.M. *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 11, 139543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139543>.
17. Wang F., Wang L., Zhang X., Ma S., Zhao Z. *Journal of Food Engineering*, 2022, vol. 332, no. 11, 111039. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111039>.
18. Moreira C.M., Scala-Benuzzi M.L., Takara E.A., Pereira S.V., Regiart M., Soler-Illia G.J., Raba J., Messina G.A. *Talanta*, 2019, vol. 200, no. 8, pp. 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.03.051>.
19. Valente M., Tirillò J., Quitadamo A., Santulli C. *Composites Part B: Engineering*, 2017, vol. 110, no. 2, pp. 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.013>.
20. Samyn P., Deconinck M., Schoukens G., Stanssens D., Vonck L. *Progress in Organic Coatings*, 2010, vol. 69, no. 12, pp. 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.08.008>.
21. Bu Q., Zhao S., Liu X., Bao J. *Journal of Energy Storage*, 2022, vol. 50, no. 6, 104254. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104254>.
22. Bu Q., Cao X., Li X., Bao J. *Journal of Energy Storage*, 2022, vol. 52 B, no. 8, 104994. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104994>.
23. Serova V.N., Khasanov A.I. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2023, no. 4, pp. 18–21. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2023-4-18-21>. (in Russ.).
24. Bukharina I.L., Povarnitsina T.M. *Samarskaya Luka*, 2008, vol. 17, no. 3 (25), pp. 619–625. (in Russ.).
25. Kolyada N.A. *Vestnik KrasGAU*, 2010, no. 9, pp. 73–76. (in Russ.).
26. Ivanova N.I. *Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye*, 2021, vol. 64, no. 8, pp. 674–679. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2021-64-8-674-679>. (in Russ.).
27. Kuznetsova T.G., Ivankin A.N., Kulikovskiy A.V. *Nanosensornyy analiz myasnogo syr'ya i rastitel'nykh ob'yektov: monografiya*. [Nanosensory analysis of meat raw materials and plant objects: monograph]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013, 224 p. (in Russ.).
28. Pozdnyakova T.A., Bubenchikov R.A. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2022, vol. 21, no. S2, pp. 95–96. (in Russ.).
29. Kalashnik A.V., Serdan A.A., Koshina N.A., Ionov S.G. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2013, vol. 56, no. 7, pp. 12–16. (in Russ.).
30. Zarubina A.N., Ivankin A.N. *Polymer Science, Series D*, 2024, vol. 17, no. 2, pp. 461–465. <https://doi.org/10.1134/S1995421224700795>.
31. Cheng H., Liang M., Dai M., Lu X., Huang Q., Lai F., Ma L., Li W., Liu X. *Arabian Journal of Chemistry*, 2023, vol. 16, no. 12, 105322. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105322>.
32. Yu A., Sidorenko A.Y., Khalimonyuk T.V., Kurban Y.M., Ilyina I.V., Li-Zhulanov N.S., Patrusheva O.S., Aho A., Heinmaa I., Volcho K.P., Salakhutdinov N.F., Murzin D.Y., Agabekov V.E. *Applied Catalysis A: General*, 2025, vol. 691, no. 2, 120070. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2024.120070>.
33. Jagtap R.A., Verma S.K., Punji B. *Organic Letters*, 2020, vol. 22, no. 12, pp. 4643–4647. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.0c01398>.

34. Musina L.R., Galikhanov M.F. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 2, pp. 86–90. (in Russ.).
35. Davydov I.B., Krasnaya I.A., Pantyukhina Ye.V. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, 2019, no. 2, pp. 388–394. (in Russ.).
36. Petrova A.V. *Vestnik Akademii znaniy*, 2022, no. 49 (2), pp. 216–220. (in Russ.).
37. Zhang H., Huang D., Zhang X. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2024, vol. 418B, no. 1, 116560. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116560>.
38. Yao S., Cao H., Arp H.P. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 283, no. 8, 117393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117393>.
39. Bao Y., Dolfing J., Chen R., Li Z., Lin X., Feng Y. *Soil and Tillage Research*, 2023, vol. 229, no. 5, 105679. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105679>.

Received September 10, 2024

Revised April 15, 2025

Accepted May 14, 2026

Сведения об авторах

Иванкин Андрей Николаевич – доктор химических наук, профессор кафедры химии и химических технологий в лесном комплексе, aivankin@inbox.ru

Борисова Олеся Александровна – магистрант, borisovaoa@student.bmstu.ru

Information about authors

Ivankin Andrey Nikolaevich – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex, aivankin@inbox.ru

Borisova Olesya Aleksandrovna – master's student, borisovaoa@student.bmstu.ru