

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 2. С. 243–255.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28 (2): 243–255.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.542

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-2-243-255>

EDN: BFSVFP

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ АНТИПИРЕНА НА СТРУКТУРУ И СОСТАВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ТОРФОВЕРМИКУЛИТОВОГО МАТЕРИАЛА

Динара Сергеевна Горкольцева, Наталья Олеговна Копаница,
Александр Иванович Кудяков

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Организация производства современных теплоизоляционных материалов на базе местных сырьевых ресурсов может стать перспективным направлением развития торфяной промышленности.

Цель: анализируется влияние добавки фосфатсодержащего антипирена «Полиизомат А» на структурные и химические свойства торфовой вермикулитовой теплоизоляционной композиции, а также его горючесть. В ходе проведенных экспериментов выявлены изменения в морфологии, химическом составе и тепловых свойствах образцов. Полученные данные позволяют оценить эффективность использования антипирена для повышения огнестойкости и улучшения эксплуатационных характеристик теплоизоляционных материалов на основе торфовой вермикулитовой композиции.

Результаты. Установлено, что модификация композиции на основе солей аммония способствует повышению огнестойкости и снижению скорости теплового разложения без существенного ухудшения теплоизоляционных свойств. Определены оптимальные концентрации антипирена, обеспечивающие баланс между прочностными характеристиками и показателями пожарной безопасности.

Ключевые слова: торф, вермикулит, торфовой вермикулитовой материал, антипирен, фосфатсодержащий антипирен, теплоизоляционные материалы на основе торфа, торфовой вермикулитовой композиция

Для цитирования: Горкольцева, Д.С., Копаница, Н.О., Кудяков, А.И. Оценка влияния добавки антипирена на структуру и состав теплоизоляционной торфовой вермикулитовой композиции // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 2. С. 243–255. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-2-243-255>. EDN: BFSVFP

ORIGINAL ARTICLE

INFLUENCE OF FIRE RETARDANT ON STRUCTURE AND COMPOSITION OF PEAT-VERMICULITE HEAT INSULATING MATERIAL

Dinara S. Gorkoltseva, Natalya O. Kopanitsa, Aleksandr I. Kudyakov
Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: The aim of the work is to study the effect of phosphate-containing fire retardant Polyisomat A on the structure and chemical properties of peat-vermiculite heat insulating material and its flammability.

Research findings: Experiments show changes in the morphology, chemical composition, and thermal properties of the samples. It is found that the composition modified with ammonium salts improves the fire resistance and reduces the thermal decomposition rate without a significant degradation of thermal insulation properties. The best concentration of the fire retardant is determined to ensure a balance between the strength and fire safety performance.

Practical implications: The obtained data help to evaluate the effectiveness of the fire retardant in enhancing the fire resistance and performance of peat-vermiculite heat insulating material.

Keywords: peat, vermiculite, peat-vermiculite composition, fire retardant, phosphate-containing fire retardant, peat-based heat insulating

For citation: Gorkol'tseva, D.S., Kopanitsa, N.O., Kudyakov, A.I. Influence of Fire Retardant on Structure and Composition of Peat-Vermiculite Heat Insulating Material. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28 (2): 243–255. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-2-243-255>. EDN: BFSVFP

Введение

Современные требования к строительным теплоизоляционным материалам включают не только низкую теплопроводность, но и повышенную пожарную безопасность, экологичность и биоустойчивость. ТорфOVERMULITОВЫЕ композиции представляют интерес благодаря сочетанию низкой плотности, развитой пористой структуры и доступности сырьевой базы [1–3]. Известно, что органическая составляющая строительных материалов на основе торфа характеризуется повышенной горючестью, что ограничивает область применения материала. Одним из перспективных направлений повышения огнестойкости является введение антипиреновых добавок, способных замедлять процессы термического разложения и способствовать образованию защитного коксового слоя [4–6].

В настоящее время торфяная отрасль России характеризуется сравнительно низкими объемами добычи, несмотря на практически неисчерпаемые запасы торфа. Перспективным направлением развития торфяной промышленности в Сибирском регионе может стать организация производства современных теплоизоляционных материалов на базе местных сырьевых ресурсов. В научной литературе представлены исследования, посвященные созданию теплоизоляционных материалов на основе низинных торфов и отходов деревообрабатывающей промышленности. Особое внимание уделяется разработке стеновых теплоизоляционных изделий на основе торфа с применением различных модифицирующих добавок и наполнителей из древесных отходов.

Анализ опубликованных ранее данных свидетельствует о том, что наиболее распространенным и детально изученным способом получения легких теплоизоляционных материалов из торфа является использование древесных отходов в качестве заполнителя. Данный метод основан на введении опилок в торфяную массу с последующим формованием изделий методом прессования. После прессования сформированные изделия подвергаются процессу сушки для достижения требуемых эксплуатационных характеристик [7–10]. В исследовании [11] в качестве одного из приоритетных направлений совершенствования торфяных композиционных материалов рассматривается применение вермикулита в роли минерального заполнителя. Установлено, что введение вермикулита в состав торфяного вяжущего способствует снижению его горючести, уменьшению усадочных деформаций в процессе сушки и повышению прочностных характеристик готовых изделий. Использование формообразующих фракций вермикулитового заполнителя обеспечивает формирование более стабильной пористой структуры, что позволяет получить композиционный материал с улучшенными теплофизическими показателями, соответствующими современным требованиям по энергосбережению и энергоэффективности.

Целью работы является оценка влияния фосфатсодержащего антипирена на структуру, фазовый состав и эксплуатационные характеристики теплоизоляционного торфовермикулитового материала.

Повышение класса пожарной безопасности торфовермикулитовых композиций достигается за счет введения модифицирующих добавок-антипиренов. В работе [12] показано, что снижение горючести теплоизоляционных изделий может быть обеспечено применением огнезащитных составов на основе водных растворов солей металлов, способствующих ингибированию процессов термического разложения и распространения пламени.

Комплексное использование торфа в качестве связующего компонента и вспученного вермикулита как функционального наполнителя при разработке нового теплоизоляционного материала формирует предпосылки для создания конкурентоспособной продукции строительного назначения. Реализация данного направления может способствовать укреплению промышленного потенциала и повышению социально-экономической значимости региона [13–16].

Материалы и методы

Рассмотрена возможность производства теплоизоляционного материала на основе торфовермикулитовой смеси с добавкой антипирена на основе солей аммония. В работе были использованы сырьевые материалы, соответствующие требованиям нормативных документов.

В качестве сырьевой базы для проведения экспериментальных исследований применялись природные и минеральные компоненты, отвечающие требованиям действующей нормативной документации.

Основным органическим компонентом служил низинный торф месторождений Томской области, соответствующий требованиям ГОСТ 33162–2014, физико-химические и технологические характеристики приведены в табл. 1.

В качестве минерального заполнителя использовался вспученный вермикулит марки ВВТ-200, фракции 0,5–2,0 мм, отвечающий требованиям

ГОСТ 12865–2025. Материал произведен научно-производственным объединением «Завод композиционных строительных материалов» (г. Томск). Основные свойства вермикулита представлены в табл. 2.

Таблица 1

Основные физико-технические характеристики торфов

Table 1

The main parameters of peats

Тип торфа	Зольность, %	Степень разложения, %	Средняя плотность, кг/м ³	Влажность, %	pH
Низинный	36–48	37–44	489	85,1	6,1–6,9
Низинный	16–17	27–35	451	20,3	7,1–7,7
Переходный	8–10	15–20	584	62,8	6,2–6,8

Таблица 2

Основные физико-технические характеристики вспученного вермикулита

Table 2

The main parameters of foamed vermiculite

Показатель	Марка		
	100	150	200
Насыпная плотность, кг/м ³	≤ 100	≤ 150	≤ 200
Коэффициент теплопроводности при 25 °С, Вт/м·К	0,055–0,064	0,060–0,070	0,065–0,076
Массовая доля влаги, %	3	3	4
Температура применения, °С	До 1100		

В качестве модифицирующих добавок в исследуемых композициях применялся антипирен «Полиизомат А» (аммонийфосфатная композиция), соответствующая требованиям ГОСТ 12.1.007–76, основные физико-химические и эксплуатационные характеристики приведены в табл. 3. Выбор минерального заполнителя и модифицирующей добавки обоснован в ранее проведенных исследованиях [12].

Таблица 3

Физико-технические характеристики антипирена

Table 3

The main parameters of fire retardant

Показатель	Характеристика/типичные значения	Примечание
Химическая формула	(NH ₄ PO ₃)	Линейный полифосфат
Степень полимеризации (n)	~20–1000+	Зависит от типа (I или II)
Плотность истинная, г/см ³	1,8–1,9	–
pH (10 % суспензии)	5,5–7,5	Слабокислая/нейтральная среда

Окончание табл. 3
End of table 3

Показатель	Характеристика/ типичные значения	Примечание
Температура начала разложения, °С	240–300	Без плавления
Термостойкость, °С	До 300 (без значительного разложения)	–
Гигроскопичность	Низкая (тип II)	Важна для ЛКМ

Физико-химический анализ полученных образцов осуществлялся с использованием комплекса инструментальных методов. Для идентификации функциональных групп, оценки химического состава и анализа структурных изменений исследуемых образцов применялся метод инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Исследования проводились на ИК-Фурье-спектрометре TENSOR 27 (Bruker Optics, Германия).

Для оценки влияния добавки антипирена «Полиизомат А» на огнестойкость торфOVERМИКУЛИТОВОЙ композиции в состав смесей вводили антипирены с разной концентрацией действующего вещества в диапазоне от 0 до 20 % от массы смеси. Эффективность добавки определяли по степени горючести торфOVERМИКУЛИТОВОГО композита, установленной по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 16363–98. Исследования были проведены федеральным государственным бюджетным учреждением МЧС России «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы “Испытательная пожарная лаборатория” по Томской области» в рамках экспериментального определения группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов.

Сухие компоненты смешивались до однородного состояния, после чего вводился водный раствор антипирена. Формование осуществлялось методом полусухого прессования при давлении 0,8–1,0 МПа. Сушка образцов проводилась при температуре (60 ± 5) °С до постоянной массы.

Методика основана на измерении потери массы образцов, обработанных антипиреновыми покрытиями или пропиточными составами, при огневом воздействии в условиях, способствующих накоплению тепла. Плотность полученного материала определяли по ГОСТ 17177–94. Прочность образцов при сжатии и изгибе, а также их влажность устанавливали в соответствии с ГОСТ 23789–2018.

Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов показал, что наибольший эффект достигается при применении пропиточного состава с концентрацией раствора антипирена «Полиизомат А» 15–18 % [17].

Для обоснования полученных результатов исследований была проведена идентификация функциональных групп, оценка химического состава и анализ структурных изменений исследуемых образцов. Применялся метод инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR).

Были исследованы образцы 1 – торф активированный, 2 – вермикулит вспученный, 3 – торфвермикулитовая смесь, 4 – торфвермикулитовый материал, модифицированный антипиреном 5 % от массы торфа, 5 – торфвермикулитовый материал, модифицированный антипиреном 10 % от массы торфа, 6 – торфвермикулитовый материал, модифицированный антипиреном 15 % от массы торфа, 7 – торфвермикулитовый материал, модифицированный антипиреном 20 % от массы торфа. Полученные данные отражены на рис. 1–7.

В спектре активированного торфа (рис. 1) наиболее интенсивные полосы поглощения принадлежат соединениям с гидроксильными группами (3421 , 1641 см^{-1} – валентные и деформационные колебания соответственно) и группой С–О–С (1058 см^{-1} , валентные колебания), что свидетельствует о присутствии в составе полисахаридов.

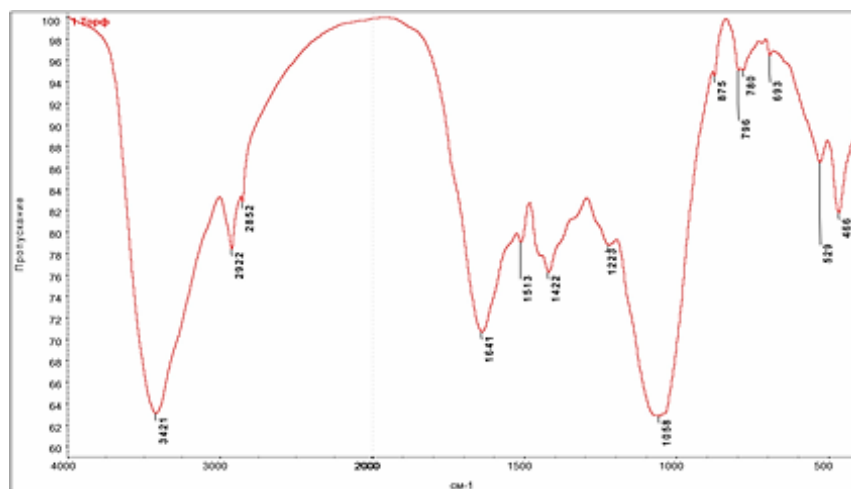


Рис. 1. ИК- спектр активированного торфа
Fig. 1. IR spectrum of activated peat

Валентные колебания метиленовых CH_2 и метильных CH_3 групп находятся в области 2922 и 2852 см^{-1} соответственно. Сигналы в области 1513 , 1422 , 1223 , 796 , 780 , 693 , 529 см^{-1} относятся к различным ароматическим соединениям (например, в составе лигнина, компонента торфа).

В ИК-спектре вспученного вермикулита (рис. 2) присутствуют полосы поглощения, характерные для связи Si–O–Si (валентные колебания – 999 см^{-1} , деформационные колебания – 681 и 455 см^{-1}). Также в области 400 – 600 см^{-1} проявляются колебания связей «металл-кислород».

Сигналы малой интенсивности в области 1341 и 819 см^{-1} свидетельствуют о наличии небольшого количества карбоната (соответственно валентные и деформационные колебания связей в группе).

Полосы поглощения 3439 и 1639 см^{-1} относятся к гидроксильным группам в составе воды (валентные и деформационные колебания). Небольшой пик с максимумом 3714 см^{-1} свидетельствует о присутствии свободной ОН-группы, не связанной водородными связями.

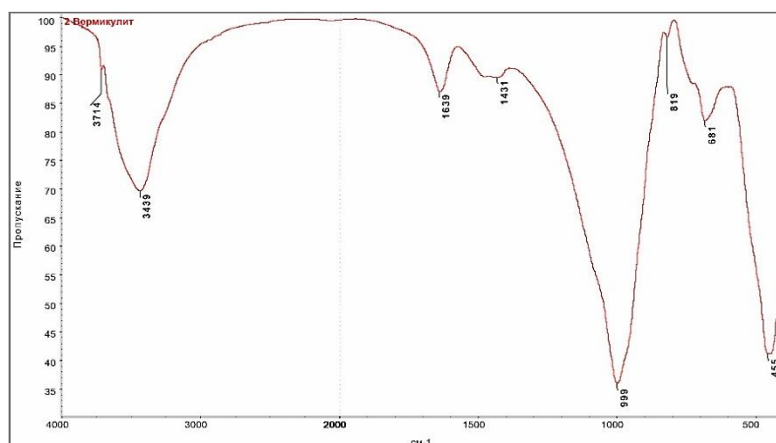


Рис. 2. ИК-спектр вспученного вермикулита
Fig. 2. IR spectrum of foamed vermiculite

В спектре торфовой вермикулитовой смеси (рис. 3) присутствуют полосы поглощения, относящиеся к обоим компонентам. Однако можно отметить, что полоса 999 см^{-1} , характерная для спектра вермикулита, не изменила свою форму и положение максимума в смеси, несмотря на наличие интенсивного сигнала 1058 см^{-1} в спектре торфа, относящегося к полисахаридам. Вероятно, распределение компонентов в торфе может быть неоднородным.

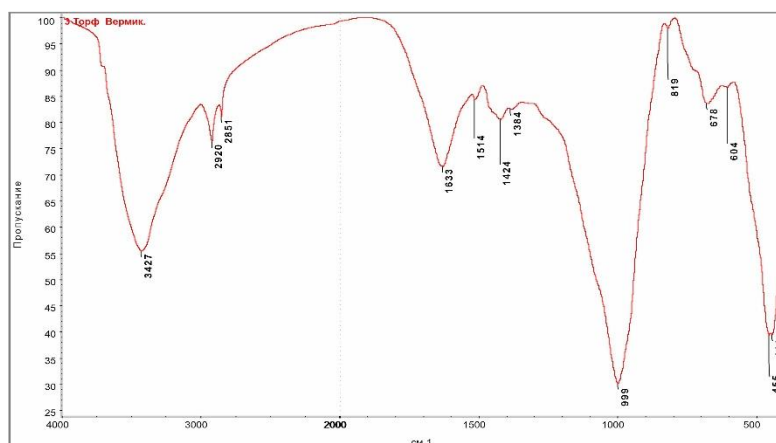


Рис. 3. ИК-спектр торфовой вермикулитовой смеси
Fig. 3. IR spectrum of peat-vermiculite material

Сигналы гидроксильных групп ($3427, 1633\text{ см}^{-1}$ в спектре смеси) также изменены по сравнению со спектрами исходных компонентов, однако их высокая интенсивность свидетельствует о вкладе обоих веществ.

Основные полосы поглощения в ИК-спектре торфовой вермикулитовой смеси, модифицированной антипиреном 5% от массы торфа, относятся к поглощению сульфатных групп (1091 см^{-1} – валентные колебания, 614 см^{-1} – деформационные колебания) и иона аммония NH_4^+ ($3423, 3051\text{ см}^{-1}$ – валентные

колебания, 1415 см^{-1} – деформационные колебания). Пик малой интенсивности в области 2048 см^{-1} может относиться к колебаниям группы CN-.

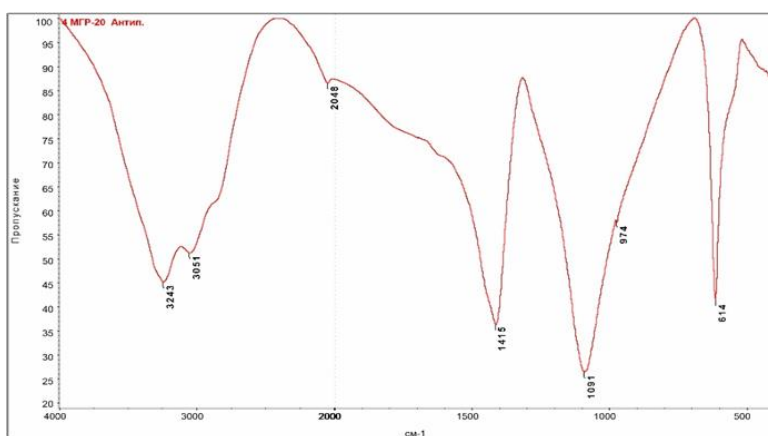


Рис. 4. ИК-спектр торфOVERMICULITE материала, модифицированного антипиреном 5 % от массы торфа

Fig. 4. IR spectrum of peat-vermiculite material modified with fire retardant in the amount of 5 % of peat

В спектрах торфOVERMICULITE смеси с добавкой антипирена 10, 15 и 20 % (рис. 5–7) закономерно прослеживается увеличение интенсивности полос поглощения, принадлежащих антипирену. Так, сигнал, принадлежащий сульфатной группе, в ИК-спектре (рис. 5) проявляется в виде плеча на основном пике 1008 см^{-1} , в ИК-спектре (рис. 6) – в виде отдельной полосы 1086 см^{-1} , а в ИК- спектре (рис. 7) интенсивность этой полосы с максимумом 1088 см^{-1} даже превышает интенсивность пика 1010 см^{-1} , относящегося к смеси торфа и вермикулита.

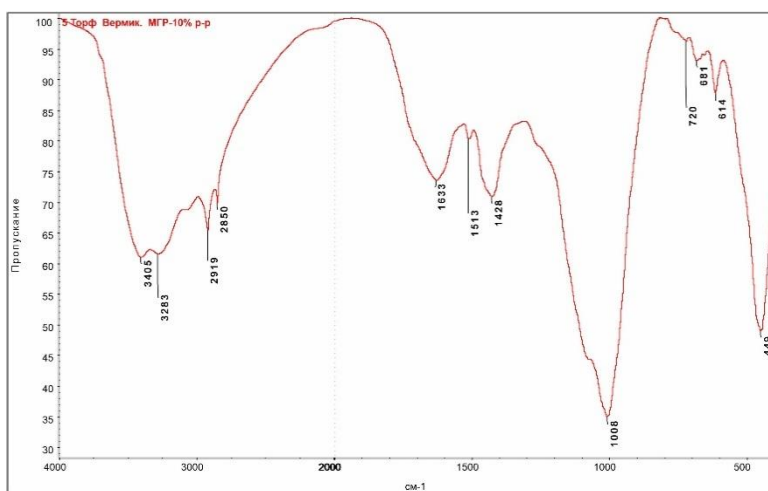


Рис. 5. ИК-спектр торфOVERMICULITE материала, модифицированного антипиреном 10 % от массы торфа

Fig. 5. IR spectrum of peat-vermiculite material modified with fire retardant in the amount of 10 % of peat

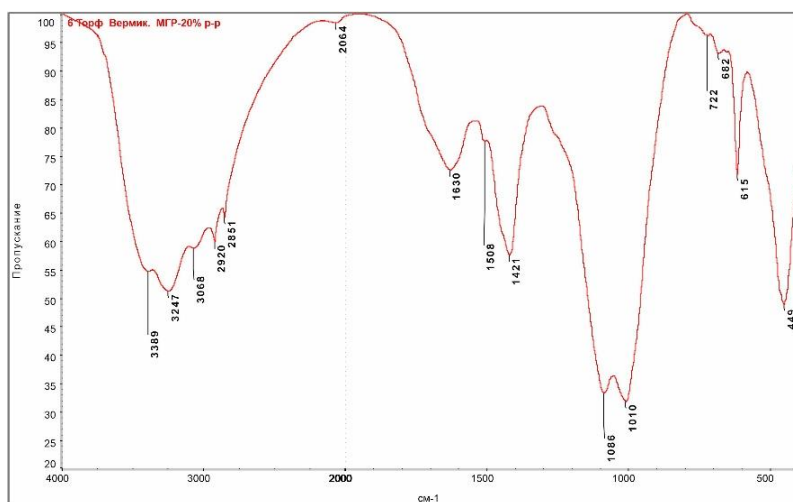


Рис. 6. ИК-спектр торфвермикулитового материала, модифицированного антипиреном 15 % от массы торфа

Fig. 6. IR spectrum of peat-vermiculite material modified with fire retardant in the amount of 15 % of peat

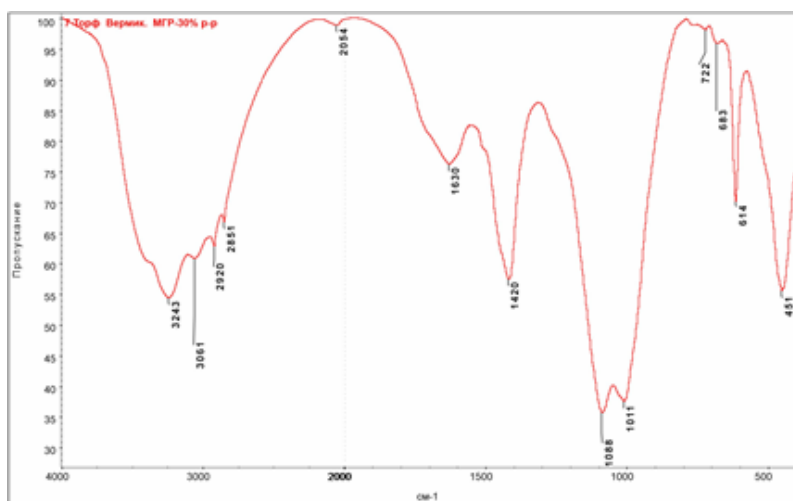


Рис. 7. ИК-спектр торфвермикулитового материала, модифицированного антипиреном 20 % от массы торфа

Fig. 7. IR spectrum of peat-vermiculite material modified with fire retardant in the amount of 20 % of peat

Также заметно увеличение интенсивности пика деформационных колебаний сульфогруппы ($614\text{--}615\text{ см}^{-1}$) по мере нарастания концентрации антипирена в смеси. Полоса поглощения иона аммония 1415 см^{-1} , интенсивная в спектре исходного антипирена, накладывается с полосой 1424 см^{-1} , присутствующей в спектре смеси торфа и вермикулита. В связи с этим в ИК-спектрах (рис. 5–7) данная полоса поглощения антипирена имеет максимум, смещенный

на 1421–1428 см⁻¹, однако увеличение ее интенсивности происходит согласно заданным рецептурам.

Таким образом, по результатам ИК-спектроскопии можно предположить состав вермикулита (водный силикат с примесью карбоната), торфа (полисахариды, ароматические соединения, алифатические соединения с метильными и метиленовыми группами) и антипирена (соединение с сульфатными группами и ионами аммония).

Исходя из полученных результатов установлено, что торф имеет неоднородный состав, поскольку некоторые полосы поглощения, присутствующие в спектре исходного вещества, отсутствуют в спектре смеси торфа и вермикулита. По данным ИК-спектроскопии подтверждается возможность химического взаимодействия антипирена «Полиизомат А» с торфOVERМИКУЛИТОВОЙ смесью, что особенно заметно при увеличении концентрации антипирена. Соли железа, аммония и фосфора активно взаимодействуют с компонентами торфа. Ключевая реакция происходит между катионом металла (Fe²⁺ или Fe³⁺) и карбоксильными группами, в большом количестве представленными в гуминовых и фульвокислотах, составляющих основу торфа.

Таким образом, химическое взаимодействие является главной причиной, по которой соли металлов работают как антипирены для торфа и других целлюлозосодержащих материалов.

Механизм химического взаимодействия включает в себя следующие процессы:

1. Снижение летучести горючих продуктов пиролиза: образовавшиеся металлоорганические комплексы (гуманаты) при нагревании разлагаются иначе, чем чистая органика. Вместо образования легковоспламеняющихся летучих веществ (метан, формальдегид, угарный газ) происходит интенсивное обугливание (карбонизация). Образуется негорючий углистый остаток (кокс), а не горючие газы.

2. Каталитическое действие: ионы железа являются сильными кислотными катализаторами. Они катализируют реакции дегидратации (отщепления воды) молекул целлюлозы и других компонентов торфа. Это также смещает процесс разложения в сторону образования угля и воды и подавляет образование горючих пиролизных газов.

3. Эффект экранирования: образовавшийся пористый углистый слой (кокс) на поверхности торфа действует как барьер, препятствующий доступу кислорода к неразложившемуся материалу и защищающий его от лучистого тепла.

Выводы

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: химическое взаимодействие солей железа и других металлов с функциональными группами органики торфа – это ключевой механизм их огнезащитного действия.

Это взаимодействие приводит к изменению пути термического разложения торфа, подавлению горючих паров и стимулированию образования защитного углистого слоя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kudyakov, A.I., Kopanitsa, N.O., Kasatkina, A.V., Prischepa, I.A., Sarkisov, J.S. Foam concrete of increased strength with thermomodified peat additives // IOP Conference Series: Materials

- Science and Engineering. 2015. V. 71. Art. 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012012. EDN: UEMMWT
2. *Иванов, А.А., Петров, Б.В.* Теплоизоляционные материалы на основе природного сырья. Москва : Стройиздат, 2018. 256 с.
 3. *Копаница, Н.О., Кудяков, А.И., Саркисов, Ю.С., Горленко, Н.П., Калашникова, М.А.* Рациональное использование торфа в строительных технологиях // Строительные материалы. 2007. № 12. С. 32–35. EDN: ICDIQH
 4. *Копаница, Н.О., Ковалева, М.А.* Исследование вяжущих свойств низинных торфов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 153–158. EDN: PCQOTN
 5. *Кудяков, А.И., Копаница, Н.О., Саркисов, Ю.С., Завьялов, И.И., Рыжиков, А.Б., Макаревич, М.С.* Модифицированное торфяное вяжущее для эффективных стеновых конструкций // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. № 6. С. 27–30.
 6. *Патент № 2273620 С2* Российская Федерация, МПК С04В 38/06, С04В 16/02. Торфодревесная композиция для изготовления теплоизоляционных строительных материалов : № 2004108271/03 : заявл. 22.03.2004 : опубл. 10.04.2006 / Копаница Н.О., Кудяков А.И., Калашникова М.А., Рыжиков А.Б. ; заявитель Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ). EDN: HFQCPH
 7. *Кудяков, А.И., Копаница, Н.О., Завьялов, И.И.* Формирование прочности активированного торфяного вяжущего в торфодревесных композитах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2001. № 7. С. 43–48.
 8. *Горкольева, Д.С., Копаница, Н.О.* Физико-механические свойства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул // Вестник СибАДИ. 2022. № 19 (3). С. 412–421. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421. EDN: RIZZQM
 9. *Горкольева, Д.С., Копаница, Н.О.* Торфовермикулитовые смеси для производства теплоизоляционного гранулированного материала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23 № 5. С. 93–104. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104. EDN: KDEPYI
 10. *Виталова, Н.М.* Эффективные строительные материалы на основе торфа с улучшенными теплотехническими свойствами : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Виталова Нина Михайловна. Иваново, 2012. 165 с. EDN: QFTKRR
 11. *Пичугин, А.П., Хританков, В.Ф., Смирнова, О.Е.* Строительные материалы из растительного сырья. Новосибирск : НГАУ, 2020. 207 с. EDN: CQZCCS
 12. *Горкольева, Д.С.* Гранулированный материал на основе торфовермикулитовой композиции применительно к деревянным конструкциям зданий // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. С. 29–31. EDN: GPFVYU
 13. *Горкольева, Д.С., Копаница, Н.О.* Гранулированный материал из торфовермикулитовой смеси для легких бетонов // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 353–358. EDN: RNIWXX
 14. *Смирнова, А.И., Дягилева, А.Б.* Влияние различных реагентов на модификацию поверхности древесины // Chronos. 2020. № 5 (44). С. 50–52. EDN: TVLNCS
 15. *Цветков, Н.А., Толстых, А.В., Копаница, Н.О., Цветков, Д.Н., Дорошенко, Ю.Н., Горкольева, Д.С.* Теплозащитные свойства профилированного деревянного бруса с торфовермикулитовым утеплителем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 2. С. 157–170. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-157-170. EDN: NPQPJX
 16. *Горкольева, Д.С.* Исследование и обоснование компонентного состава теплоизоляционного материала на основе торфа применительно к купольному строительству // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. С. 40–42. EDN: XAMNTU

17. Горкольцева, Д.С., Копаница, Н.О., Кудяков, А.И., Саламатин, Б.В. Исследование и разработка композиционного материала на основе торфовермикулитовой смеси с повышенной огнестойкостью // Известия вузов. Строительство. 2023. № 12. С. 5–7. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-780-12-5-17. EDN: CQCGYO

REFERENCES

1. Kudyakov, A.I., Kopanitsa, N.O., Kasatkina, A.V., Prischepa, I.A., Sarkisov, J.S. Foam Concrete of Increased Strength with Thermomodified Peat Additives. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015; 71: 012012.
2. Ivanov, A.A., Petrov, B.V. Thermal Insulation Materials based on Natural Raw Materials. Moscow: Stroyizdat, 2018. 256 p. (In Russian)
3. Kopanitsa, N.O., Kudyakov, A.I., Sarkisov, Yu.S., Gorlenko, N.P., Kalashnikova, M.A. Rational Use of Peat in Construction Technologies. *Stroitel'nye materialy*. 2007; (12): 32–35. (In Russian)
4. Kopanitsa, N.O., Kovaleva, M.A. Binding Properties of Lowland Peats. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012; (4): 153–158. (In Russian)
5. Kudyakov, A.I., Kopanitsa, N.O., Sarkisov, Yu.S., Zavyalov, I.I., Ryzhikov, A.B., Makarevich, M.S. Modified peat binder for effective wall structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ser.: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2003; 46(6): 27–30. (In Russian)
6. Kopanitsa, N.O., Kudyakov, A.I., Kalashnikova, M.A., Ryzhikov, A.B. Peat-Wood Composite for Manufacturing Heat Insulating Building Materials. Patent Russ. Fed. No. 2273620 C2. 2006. (In Russian)
7. Kudyakov, A., Kopanitsa, N.O., Zavyalov, I.I. Strength Development of Activated Peat Binder in Peat-Wood Composites. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2001; (7): 43–48. (In Russian)
8. Gorkoltseva, D.S., Kopanitsa, N.O. Physical and Mechanical Properties of Lightweight Concrete based on Gypsum Binders and Peat-Vermiculite Granules. *Vestnik SibADI*. 2022; 19(3): 412–421. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421. EDN: RIZZQM (In Russian)
9. Gorkoltseva, D.S., Kopanitsa, N.O. Peat-Vermiculite Compositions for Granulated Material Production. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021; 23(5): 93–104. (In Russian)
10. Vitalieva, N.M. Effective Peat-Based Building Materials with Improved Thermal Properties. PhD Thesis. Ivanovo State University of Architecture and Civil Engineering, Ivanovo, 2012. Pp. 71–84. (In Russian)
11. Pichugin, A.P., Khritankov, V.F., Smirnova, O.E. Building Materials from Plant Materials. Novosibirsk, 2020. 207 p. EDN: CQZCCS (In Russian)
12. Gorkoltseva, D.S. Granular Material based on Peat-Vermiculite Composition for Wooden Buildings. In: *Proc. 18th Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development'*. Tomsk: TPU, 2021. Pp. 29–31. (In Russian)
13. Gorkoltseva, D.S., Kopanitsa, N.O. Granular Material based on Peat-Vermiculite Mixture for Lightweight Concrete. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Investments, Urban Planning, and Real Estate as Drivers of Socio-Economic Development and Improvement the Life Quality'*. Tomsk: TSUAB, 2021. Pp. 353–358. EDN RNIIWX (In Russian)
14. Smirnova, L.V., Dyagileva, A.B. The Effect of Various Reagents on Wood Surface Modification. *Chronos*. 2020; 5(44): 50–52. EDN: TVLNCJ. (In Russian)
15. Tsvetkov, N.A., Tolstykh, A.V., Kopanitsa, N.O., Tsvetkov, D.N., Doroshenko, Yu.N., Gorkoltseva, D.S. Thermal Protection Properties of Profiled Timber with Peat-Vermiculite Insulation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26(2): 157–170. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-157-170. EDN: NPQPJX (In Russian)
16. Gorkoltseva, D.S. Heat Insulating Peat-Based Composition for Dome Construction. In: *Proc. 18th Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development'*. Tomsk: TPU, 2019. Pp. 40–42. (In Russian)
17. Gorkoltseva, D.S., Kopanitsa, N.O., Kudyakov, A.I., Salamatina, B.V. Composite Material based on a Peat-Vermiculite Mixture with Increased Fire Resistance. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2023; (12): 5–7. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-780-12-5-17 (In Russian)

Сведения об авторах

Горколыцева Динара Сергеевна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, gorkoltsevadina-
ra@gmail.com

Копаница Наталья Олеговна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kopanitsa@mail.ru

Кудяков Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Authors Details

Dinara S. Gorkoltseva, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, gorkoltsevadina-
ra@gmail.com

Natalya O. Kopanitsa, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kopanitsa@mail.ru

Aleksandr I. Kudyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.03.2026
Одобрена после рецензирования 02.04.2026
Принята к публикации 02.04.2026

Submitted for publication 17.03.2026
Approved after review 02.04.2026
Accepted for publication 02.04.2026