

Хорохордина Елена Алексеевна

канд. хим. наук, доцент

Краснов Артём Александрович

студент

Аникин Дмитрий Андреевич

студент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

г. Воронеж, Воронежская область

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СНИЖЕНИЮ ИХ ОПАСНОСТИ

***Аннотация:** в статье рассмотрены биоэкологические риски, связанные с термической деструкцией древесно-стружечных плит (ДСП) в условиях пожара. В этом микрообзоре особое внимание уделено анализу эмиссии высокотоксичных ксенобиотиков (циановодород, изоцианаты, формальдегид), образующихся при пиролизе карбамидоформальдегидных смол. С позиций современной биотехнологии проведен критический обзор традиционных синтетических антипиренов и предложены альтернативные пути снижения пожарной опасности за счет использования экологически безопасных биоразлагаемых связующих и биогенных антипиренирующих добавок (фитаты, системы на основе хитозана и ДНК). Показано, что внедрение принципов «зеленой» химии позволяет не только снизить класс токсичности продуктов горения с Т4 до Т1-Т2, но и минимизирует нагрузку на экосистемы при утилизации материала.*

***Ключевые слова:** древесно-стружечная плита, экотоксикология, циановодород, ксенобиотики, биотехнология, фитаты, хитозан, ДНК-антипирены, «зеленые» связующие, огнезащита, биоразложение.*

ДСП остаются одним из самых массовых материалов антропогенной среды, объем их производства в РФ превышает 8 млн м³ ежегодно [1, с. 36]. Традиционно пожарная опасность ДСП рассматривается через призму строитель-

ных рисков (горючесть, распространение пламени). Однако в контексте биоэкологии не меньшую угрозу представляет химическая трансформация компонентов плиты при пожаре в высокотоксичные поллютанты, а также накопление небиоразлагаемого углеродистого остатка после сгорания синтетических смол.

Целью настоящей работы является анализ экотоксикологической опасности продуктов горения ДСП и систематизация современных биотехнологических подходов, направленных на создание экологически нейтральных систем огнезащиты.

Основу ДСП составляет органический наполнитель (древесная стружка, 80–90%) и синтетическое связующее (карбамидоформальдегидные или фенолоформальдегидные смолы, 10–15%) [2, с. 211]. Если пиролиз нативной древесины сопровождается выделением традиционных продуктов (оксиды углерода, альдегиды, фенолы), то наличие азотсодержащих смол приводит к образованию крайне опасных ксенобиотиков. Исследования термолиза карбамидоформальдегидного связующего показали, что уже при 140 °С начинается деструкция с выделением формальдегида, а в диапазоне 300–500 °С в газовой фазе идентифицируются циановодород (HCN) и изоцианаты [3, с. 80]. Индекс токсичности продуктов горения ДСП, определяемый по ГОСТ 12.1.044–89, составляет 35–65 г/м³, что соответствует классу опасности Т4 («чрезвычайно опасные») [4, с. 20]. В замкнутом объеме помещения концентрация 0,5–1,0 мг/л приводит к необратимой гибели лабораторных животных в течение 10–15 минут, что сопоставимо с боевыми отравляющими веществами удушающего действия.

С экологической точки зрения, данные токсиканты, попадая в атмосферу при пожарах, подвергаются фотохимическим превращениям, выпадают с осадками и загрязняют почвенный покров, подавляя микробиоту.

Традиционные методы снижения горючести (пропитка фосфатами и борами аммония, галогенсодержащие антипирены) решают строительную задачу, но создают экологическую проблему на этапе утилизации. Полибромированные дифениловые эфиры, ранее широко применявшиеся как антипирены, признаны

стойкими органическими загрязнителями и запрещены Стокгольмской конвенцией [5].

Современная биотехнология предлагает альтернативу – использование биомиметических подходов и возобновляемого сырья для создания безгалогенных огнезащитных систем. Анализ публикаций позволяет выделить три перспективных направления.

Первое направление – использование биогенных полиэлектролитов, в частности дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и хитозана. Исследования группы Маллука (J. Alongi, G. Malucelli) показали, что ДНК, нанесенная на целлюлозосодержащие ткани, при нагревании дегидратирует с образованием фосфорной кислоты, катализируя коксообразование, а выделяющийся азотсодержащий газ (аммиак) способствует вспучиванию защитного слоя [6, с. 4780]. Экстраполяция этого метода на древесные плиты позволяет полностью исключить токсичные галогены.

Второе направление – замена синтетического связующего. Биотехнология позволяет синтезировать адгезивы на основе лигносульфонатов, танинов и белковых гидролизатов. Показано, что плиты, склеенные соевым изолятом, модифицированным фурфуроловым спиртом, при горении выделяют в 3–4 раза меньше циановодорода, так как источник азота в них представлен аминокислотами, а не азометиновыми группами формальдегидных смол [7, с. 2032]. При этом микробиологическая деструкция таких «зеленых» плит после окончания срока службы ускоряется на порядок.

Третье направление – введение в структуру плиты природных антипиренов растительного происхождения, таких как фитиновая кислота и её соли (фитаты). Фитаты содержат до 28% фосфора и способствуют образованию стабильного углеродистого слоя при горении.

В работе [8, с. 97] продемонстрировано, что добавление 5% фитата натрия в связующее на основе танина позволяет перевести материал в категорию трудногорючих, при этом по параметрам экотоксичности золы (биотестирование на *Daphnia magna*) остаток от сгорания нетоксичен и не требует спецзахоронения.

Таким образом, анализ показывает, что интеграция принципов «зеленой» химии и биотехнологии в производство ДСП позволяет решить двуединую задачу: снизить пожарную опасность конструкций и минимизировать биоэкологический ущерб от эмиссии стойких высокотоксичных ксенобиотиков и от отходов огнезащитных составов. Перспективным видится создание «умных» самозатухающих плит, полностью построенных на компонентах растительного происхождения и биополимерах.

Список литературы

1. Леонтьев А.С. Анализ рынка древесно-стружечных плит в РФ: тенденции и перспективы / А.С. Леонтьев // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2024. – №2. – С. 34–39.
2. Морозов Е.В. Химия и технология древесных плит: учеб. пособие / Е.В. Морозов, И.С. Гусев. – СПб.: Лань, 2021. – 256 с.
3. Шебеко Ю.Н. Токсичность продуктов горения полимерных материалов на основе азотсодержащих смол / Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навценя // *Пожарная безопасность*. – 2021. – №3 (104). – С. 73–81.
4. Захаров А.В. Исследование критических тепловых потоков воспламенения древесно-стружечных плит / А.В. Захаров, П.И. Никитин // *Технологии техноферной безопасности*. – 2023. – №2 (96). – С. 18–27.
5. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ). Приложение А (поправки, принятые в 2019 г.). – ООН, 2019. – URL: <http://chm.pops.int> (дата обращения: 15.05.2026).
6. Alongi J. DNA: a novel, green, natural flame retardant and suppressant for cotton / J. Alongi, R.A. Carletto, A. Di Blasio // *Journal of Materials Chemistry A*. – 2013. – Vol. 1, No. 15. – P. 4779–4785.
7. Pizzi A. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding / A. Pizzi // *Journal of Adhesion Science and Technology*. – 2019. – Vol. 33, No. 18. – P. 2019–2041.

8. Costes L. Phytic acid as a bio-based phosphorus flame retardant for poly(lactic acid) nonwoven fabric / L. Costes, F. Laoutid, S. Brohez // Polymer Degradation and Stability. – 2017. – Vol. 145. – P. 93–101.