

Идентификация следов инициаторов горения в продуктах термического разложения ламинатов методом флуоресцентного анализа

© Р.Н. Степанов¹, А.А. Шеков^{2✉}, Г.В. Плотникова², К.Л. Кузнецов^{3,4}, С.С. Тимофеева⁴

¹ «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1)

² Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110)

³ Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области (Россия, 664009, г. Иркутск, ул. Култукская, 10)

⁴ Иркутский национальный исследовательский технический университет (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

АННОТАЦИЯ

Введение. Для интенсификации горения при поджогах злоумышленники в качестве инициаторов горения часто применяют доступные нефтепродукты: бензин, дизельное топливо, их смеси. На исследование инициаторы горения, как правило, поступают в виде следов на поверхности или в объеме объекта-носителя. При повреждении объектов-носителей теплом пожара возможно образование продуктов термического разложения, имеющих компонентный состав, аналогичный нефтепродуктам.

Цели и задачи. Исследование методом флуоресцентной спектроскопии экстрактивных компонентов обгоревших ламинатов, как одного из распространенных видов напольных покрытий, и установление их влияния на обнаружение инициаторов горения.

Методы. Объектами анализа стали экстракты с образцов ламината фирмы Tarkett размером 50 × 50 мм², подвергшихся термическому воздействию в муфельной печи при температуре 300, 400 и 500 °С в течение 2–10 минут. Изучение экстрактов проводилось методом флуоресцентной спектроскопии при длине волны возбуждения флуоресценции 255 нм.

Обсуждение. Спектры флуоресценции образцов ламината, имеющих признаки незначительного термического повреждения (изменение цвета), включают один широкий пик 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм. Смещение максимума флуоресценции и появление пиков в иных областях спектра характерно для образцов ламината, на поверхности которых при температуре 300 °С (600 с) и 400 °С (240, 360 с) сформировался карбонизованный слой. Увеличение степени термического повреждения образцов, сопровождающееся разрушением карбонизованного остатка, приводит к снижению интенсивности флуоресценции их экстрактивных компонентов до фоновых значений.

Выводы. Спектры флуоресценции экстрактов с ламинатов, полученных в результате обжига при температуре 400 °С в течение 240–360 с, имеют пики в области бициклических и трициклических ароматических углеводородов, что ограничивает возможности идентификации следов инициаторов горения в виде тяжелых нефтяных фракций (масла, смазки, мазут), сильно выгоревших дизельных топлив.

Ключевые слова: пожар; поджог; объекты-носители; нефтепродукты; термические повреждения; продукты термического разложения; экстрактивные компоненты; флуоресцентная спектроскопия; фронтальное элюирование

Для цитирования: Степанов Р.Н., Шеков А.А., Плотникова Г.В., Кузнецов К.Л., Тимофеева С.С. Идентификация следов инициаторов горения в продуктах термического разложения ламинатов методом флуоресцентного анализа // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 4. С. 27–35. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.27-35

✉ Шеков Анатолий Александрович, e-mail: shek@inbox.ru

Using fluorescence analysis to find traces of accelerants in the thermal decomposition products of laminates

© Roman N. Stepanov¹, Anatoliy A. Shekov^{2✉}, Galina V. Plotnikova², Konstantin L. Kuznetsov^{3,4}, Svetlana S. Timofeeva⁴

¹ The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Severnaya St., 1, Krasnoyarsk Krai, Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation)

² East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation (Lermontova St., 110, Irkutsk Region, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

³ Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service "Testing Fire Laboratory" across the Irkutsk Region (Kultuuskaya St., 10, Irkutsk, 664009, Russian Federation)

⁴ Irkutsk National Research Technical University (Lermontov St., 83, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. To enhance combustion in arson attacks, arsonists often use accelerants, or easily accessible petrochemicals, such as gasoline, diesel fuel, as well as their mixtures. As a rule, accelerants are submitted for investigation as traces left on the surface or inside objects of evidence. If objects of evidence are damaged by the fire heat, thermal decomposition products may be formed, and their composition is similar to the one of petrochemicals.

Goals and objectives. The goal of the study is to use fluorescence spectroscopy to study extractive components of the burnt laminate, as one of the most common types of floor coverings, and identify their influence on detection of accelerants.

Methods. The study is focused on extracted samples of the Tarkett laminate, having physical dimensions of 50 × 50 mm², exposed to the thermal impact in a muffle furnace at the temperatures of 300, 400 and 500 °C for 2–10 minutes. The samples were studied using fluorescence spectroscopy at the fluorescence excitation wavelength of 255 nm.

Discussion. The fluorescence spectra of the laminate samples, showing signs of minor thermal damage (color change), include a single wide peak of 300–410 nm with a maximum in the area of 340 – 370 nm. The shift of the fluorescence maximum and the emergence of peaks in other areas of the spectrum are typical for laminate samples, on the surface of which a carbonized layer is formed at the temperature of 300 °C (600 s) and 400 °C (240, 360 s). An increase in the thermal damage of samples, accompanied by the destruction of the carbonized residue, leads to the decrease in the fluorescence intensity of their extractive components to background values.

Conclusion. The fluorescence spectra of the laminate samples, obtained by means of burning at 400 °C for 240–360 s, have peaks in the area of bicyclic and tricyclic aromatic hydrocarbons, which impede the identifiability of accelerant traces that may be present as heavy oil fractions (oils, lubricants, fuel oil), highly burnt diesel fuels.

Keywords: fire; arson; trace evidence; petrochemicals; thermal damage; thermal decomposition products; extractive components; fluorescence spectroscopy; frontal elution

For citation: Stepanov R.N., Shekov A.A., Plotnikova G.V., Kuznetsov K.L., Timofeeva S.S. Using fluorescence analysis to find traces of accelerants in the thermal decomposition products of laminates. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(4):27-35. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.04.27-35 (rus).

✉ Anatoliy Aleksandrovich Shekov, e-mail: shek@inbox.ru

Введение

На сегодняшний день проблема расследования и исследования поджогов не теряет своей актуальности не только в Российской Федерации, но и за рубежом. В значительной степени это обусловлено сложностью расследования и производства судебной экспертизы по данной категории уголовных дел в результате повреждения или полного уничтожения следов преступления в ходе горения [1, 2].

Традиционным способом совершения поджога остается разлив на поверхности напольных покрытий, предметов мебели легковоспламеняющихся (ЛВЖ) или горючих жидкостей (ГЖ), среди которых наибольшее применение получили доступные светлые нефтепродукты (бензины, керосины, дизельные топлива и др.) [3–5].

Определение вида инициатора горения осуществляется в ходе судебно-экспертного исследования с применением современных аналитических методов, таких как ИК-спектроскопия, различные виды хроматографии, флуоресцентная спектроскопия [6, 7]. Последний метод, несмотря на низкую информативность, активно используется в судебно-экспертной

деятельности, что связано с его высокой чувствительностью и низкими трудозатратами [8–10].

На исследование инициаторы горения, как правило, поступают в виде следов на предметах-носителях, нередко имеющих термические повреждения. Продукты термического разложения оказывают влияние на фракционный состав извлекаемых ЛВЖ или ГЖ, что может привести к неправильной интерпретации результатов анализа, полученных экспертом или специалистом [11–15].

Например, в нативном образце фанеры и в образцах, подвергавшихся нагреванию при невысоких температурах, флуоресценция экстрактов незначительная. При нагревании образца до 300 °C максимальная интенсивность флуоресценции полученного экстракта наблюдается в области 340 нм, что не характерно для экстрактов с термически поврежденных образцов древесины. Появление данного максимума флуоресценции объясняется высвобождением экстрактивных веществ, входящих в клеевую композицию. Серьезные проблемы возникают при изучении следов инициаторов горения, сохранившихся на поверхности или в объеме прогретых полимерных материалов и резины [16–18].

В работе установлено, что спектры флуоресценции соэкстрактивных компонентов ковровых покрытий, поливинилхлоридных линолеума и плитки, прогретых до 250–300 °С, практически идентичны спектрам бензинов. Это обусловлено формированием в процессе термической деструкции материалов на основе нейлона и поливинилхлорида моно- (бензол и его гомологи) и полициклических (нафталин, антрацен и др.) аренов, близких по своему составу к анализируемым моторным топливам [17–20].

Спектры флуоресценции экстрактов с полимерных автомобильных ковриков, подвергавшихся обжигу в течение трех минут при температуре от 200 до 400 °С, содержат два максимума в интервалах 300–330 нм и 340–370 нм, характерных для следов тяжелых нефтяных фракций (масла, смазки, мазут), либо сильно выгоревших дизельных топлив [21].

При исследовании экстрактов с нативных и обработанных дизельным топливом полиуретановых материалов, которые нагревались при температуре от 200 до 300 °С в течение 5–20 минут, было установлено, что идентификация инициатора горения возможна до 250 °С. При увеличении температуры нагрева интенсивность флуоресценции компонентов дизельного топлива становится ниже интенсивности флуоресценции продуктов термического разложения полиуретана, и идентификация инициатора горения невозможна [22].

Таким образом, для правильной интерпретации результатов исследования объектов, являющихся носителями следов инициаторов горения, специалисту необходима информация о продуктах термического разложения анализируемых материалов.

Исходя из анализа результатов изучения методом флуоресцентной спектроскопии материалов, являющихся объектами-носителями следов инициаторов горения, состава ламинатов, которые могут включать компоненты, обладающие свойством флуоресценции, а также отсутствия данных в литературных источниках об исследовании ламината как объекта-носителя следов ЛВЖ и ГЖ, цель работы — исследование методом флуоресцентной спектроскопии экстрактивных компонентов обгоревших ламинатов, как одного из распространенных видов напольных покрытий, и установление их влияния на обнаружение инициаторов горения.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были подготовлены образцы ламината фирмы Tarkett размером 50 × 50 мм², которые подвергались термическому воздействию в муфельной печи при температуре 200, 300, 400 и 500 °С в течение 2–10 минут (120–600 с).

В связи с незначительным термическим повреждением в виде изменения цвета образцов, выдержан-

ных при температуре 200 °С в течение 600 с (рис. 1), дальнейшее исследование образцов не проводилось.



Рис. 1. Образец ламината, полученный в результате обжига при температуре 200 °С в течение 600 с

Fig. 1. A laminate sample obtained by burning at the temperature of 200 °С for 600 s

Обожженные образцы ламината, полученные при 300, 400 и 500 °С (рис. 2), экстрагировались с применением гексана марки «осч». Извлечение органических веществ из объектов исследования проведено способом фронтального элюирования. Для этого использовали две делительные воронки. В нижнюю воронку, на дно которой предварительно был положен кусочек ваты для фильтрования получающегося экстракта, помещали мелконарезанные объекты. С помощью второй воронки, заполненной растворителем (гексаном), прикапывали растворитель со скоростью 1 капля в секунду до образования слоя растворителя над измельченной пробой высотой 1–2 мм. Расход растворителя составил 10 мл. После прекращения подачи растворителя в нижней воронке открывали кран и со скоростью, аналогичной скорости подачи растворителя, в нее сливали полученный экстракт в приемный бюкс.

Экстракты исследовали на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» при длине волны возбуждения флуоресценции 255 нм. Спектральный диапазон измерений — от 270 до 450 нм, шаг сканирования — 1 нм, число вспышек — 25, чувствительность — низкая. При длине волны возбуждающего света 255 нм в области 270–300 нм люминесцируют моноароматические углеводороды (МАУ) — гомологи бензола, главным образом ди- и тризамещенные алкилбензолы. В области 300–330 нм люминесцируют бициклические ароматические углеводороды (БАУ) — дифенил, гомологи нафталина, в том числе моно-, ди-, три- и тетразамещенные и т.д. Длина волны флуоресценции ароматических углеводородов и ее интенсивность увеличиваются с возрастанием числа

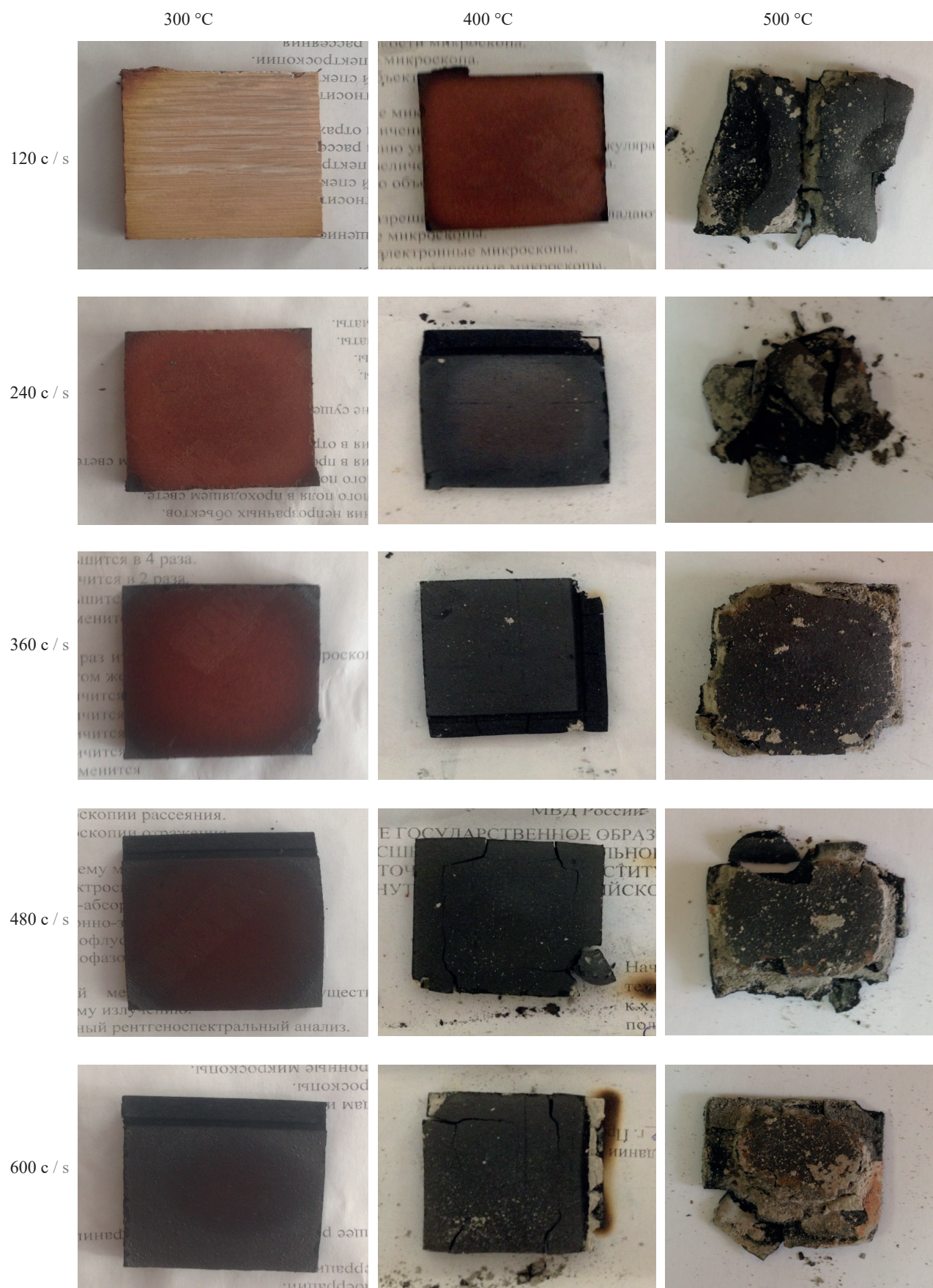


Рис. 2. Образцы ламината, полученные в результате обжига при температурах 300–500 °C в течение 120–600 с

Fig. 2. Laminate samples obtained by burning at the temperatures of 300–500 °C for 120–600 s

колец и сопряженных двойных связей. Пик в области 340–370 нм свидетельствует о флуоресценции трициклических ароматических углеводородов (ТАУ) — фенантрена и его гомологов, а область спектра от 370 до 430 нм характерна для полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) группы антрацена, пирена и т.д.

Определение максимумов флуоресценции в областях спектра, характерных для ароматических углеводородов, а также анализ спектров проводились в соответствии с методикой, изложенной в работе [23].

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе анализа экстрактов обгоревших ламинатов, полученных при 300 °С (рис. 3) в течение 120–480 с, установлено, что спектры флуоресценции имеют широкий пик в области 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм, характерным для ТАУ. При увеличении времени термического воздействия до 600 с наблюдается смещение максимума пика в длинноволновую область (360–390 нм). Интенсивность флуоресценции составляет 0,35 относительных единиц (отн. ед.).

Наибольшие изменения состава экстрактивных компонентов наблюдаются при температуре 400 °С (рис. 4). При времени термического воздействия 120 с спектр флуоресценции экстракта почти не отличается от спектров, полученных при температуре 300 °С, и представляет собой широкий пик в области 300–410 нм с максимумом 340–370 нм, что соответствует люминесценции ТАУ.

При времени термического воздействия 240 с на спектре формируется пик 360–390 нм с плечом 310–340 нм. В ходе дальнейшего увеличения времени термического воздействия до 240 с происходит формирование пика 300–330 нм, характерного для

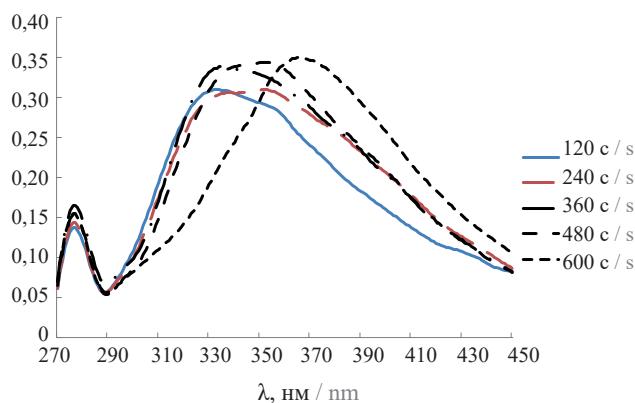


Рис. 3. Спектры флуоресценции экстрактов остатков ламината, полученных при 300 °С

Fig. 3. Fluorescence spectra of the extracted burnt laminate obtained at 300 °C

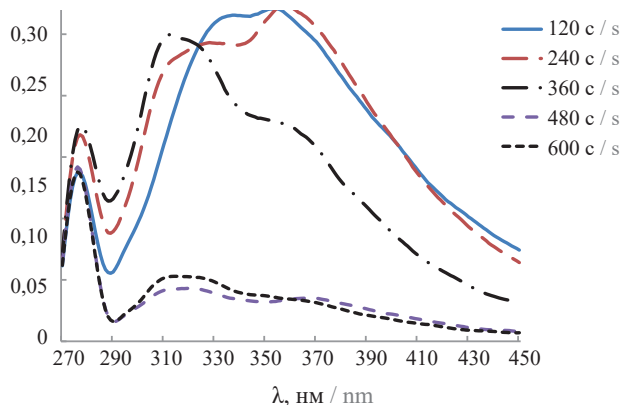


Рис. 4. Спектры флуоресценции экстрактов остатков ламината, полученных при 400 °С

Fig. 4. Fluorescence spectra of the extracted burnt laminate obtained at 400 °C

БАУ, и плеча 340–370 нм, характерного для ТАУ. Длительный обжиг образцов ламината при температуре 400 °С в течение 480 и 600 с приводит к снижению люминесценции экстрактивных компонентов, полученных с их обугленных остатков. Интенсивность пиков люминесценции менее 0,25 отн. ед., т.е. находится в пределах фоновых значений.

Пики в области БАУ и ТАУ на спектрах флуоресценции экстрактов ламинатов, полученных при температуре 400 °С в течение 240–360 с, также присущи тяжелым нефтяным фракциям (масла, смазки, мазут) или сильно выгоревшим дизельным топливам. Следовательно, продукты термического разложения ламинатов, формирующиеся при данных условиях, могут ограничивать возможности эксперта по обнаружению и идентификации инициаторов горения.

В процессе высокотемпературного нагрева при 500 °С (рис. 5) органическая составляющая ламинатов выгорает, в результате чего наблюдается низкая люминесценция экстрактов обугленных остатков. Интенсивность пиков люминесценции находится в пределах фоновых значений, при этом максимумы пиков отмечаются в области 300–330 нм (БАУ) и 340–370 нм (ТАУ).

Изменения спектров флуоресценции экстрактов сопоставимы со степенью термического повреждения образцов ламината (рис. 2). Спектры флуоресценции образцов ламината, имеющих признаки незначительного термического повреждения (изменение цвета), включают один широкий пик 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм. Смещение максимума флуоресценции и появление пиков в иных областях спектра характерно для образцов ламината, на поверхности которых при температуре 300 °С (600 с) и 400 °С (240, 360 с) сформировался карбонизованный слой. Увеличение степени термического повреждения образцов, сопровождающееся разрушением карбонизованного остатка, приводит

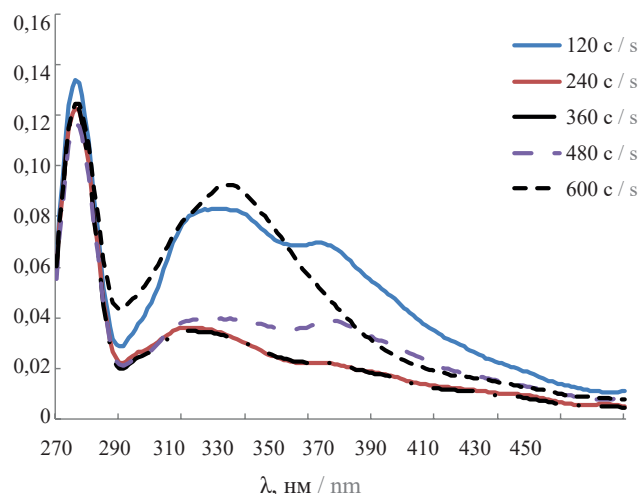


Рис. 5. Спектры флуоресценции экстрактов остатков ламината, полученных при 500 °С

Fig. 5. Fluorescence spectra of the extracted burnt laminate obtained at 500 °C

к снижению интенсивности флуоресценции их экстрактивных компонентов до фоновых значений.

Необходимо отметить, что в спектрах флуоресценции экстрактов, содержащих продукты термического разложения ламинатов, отсутствуют пики МАУ с интенсивностью, превышающей фоновые значения 0,25 отн. ед., и пики ПАУ. Значит, соэкстрактивные компоненты термически поврежденных ламинатов не будут ограничивать возможности эксперта в идентификации индивидуальных МАУ, смесевых растворителей, керосинов и автомобильных бензинов

с низкой степенью выгорания (наличие пиков МАУ), а также керосинов и автомобильных бензинов с высокой степенью выгорания (наличие пиков ПАУ).

Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено:

- на степень термического поражения материалов влияет не только температура, но и время термического воздействия;
- спектры флуоресценции экстрактов обгоревших ламинатов, полученных при 300 °С в течение 120–480 с, имеют широкий пик в области 300–410 нм с максимумом в области 340–370 нм;
- наибольшие изменения состава экстрактивных компонентов наблюдаются при температуре 400 °С и времени температурного воздействия 120–360 с;
- длительный обжиг образцов ламината при температуре 400 °С (480, 600 с) и 500 °С приводит к снижению люминесценции экстрактивных компонентов их обугленных остатков, при этом интенсивность пиков их люминесценции находится в пределах фоновых значений;
- экстракты ламинатов, полученных при температуре 400 °С в течение 240–360 с, в спектрах флуоресценции имеют пики в области БАУ и ТАУ, что характерно для тяжелых нефтяных фракций (масла, смазки, мазут) либо сильно выгоревших дизельных топлив. Однако достижение данной температуры на уровне пола маловероятно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эндерс А.И. Основные аспекты осуществления противодействия сокрытию следов преступлений на примере поджогов // *Философия права*. 2020. № 1 (92). С. 170–173. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42718469>
2. Cacho J.I., Campillo N., Aliste M., Viñas P., Hernández-Córdoba M. Headspace sorptive extraction for the detection of combustion accelerants in fire debris // *Forensic Science International*. 2014. Vol. 238. Pp. 26–32. DOI:10.1016/j.forsciint.2014.02.006
3. Удилов Т.В. Исследование самодельных зажигательных составов методом газожидкостной хроматографии // *Судебная экспертиза*. 2015. № 4 (44). С. 75–79.
4. Могильникова А.В. Исследование дизельных топлив методом флуоресцентной спектроскопии при расследовании поджогов // *Криминалистика: вчера, сегодня, завтра*. 2020. № 3 (15). С. 85–92. DOI: 10.24411/2587-9820-2020-10057 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44078353>
5. Pert A.D., Baron M.G., Birkett J.W. Review of analytical techniques for arson residues // *Journal of Forensic Sciences*. 2006. Vol. 51. Issue. 5. Pp. 1033–1049. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2006.00229.x
6. Клаптюк И.В., Чеишко И.Д. Обнаружение следов светлых нефтепродуктов на месте пожара при поджогах // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России*. 2012. № 3. С. 38–43. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V43/6.pdf>
7. Bruno T.J., Lovestead T.M., Huber M.L. Prediction and preliminary standardization of fire debris constituents with the advanced distillation curve method // *Journal of Forensic Sciences*. 2011. Vol. 56. Issue. S1. Pp. S192–S202. DOI:10.1111/j.1556-4029.2010.01628.x
8. Siegel J.A., Fisher J., Gilna C., Spadafora A., Krupp D. Fluorescence of petroleum products. I. Three-dimensional fluorescence plots of motor oils and lubricants // *Journal of Forensic Sciences*. 1985. Vol. 30. Issue. 3. P. 741–759. DOI:10.1520/JFS11008J

9. Воронцова А.А., Калашиников Д.В., Липский А.А., Эсатов О.А. Проблемы и перспективы использования пожарно-техническими специалистами современных способов обнаружения и исследования средств для поджога // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 2 (23). С. 72–77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29344433>
10. Гапоненко М.В., Ворошилов Р.Ф., Долгушина Л.В. Использование метода флуоресцентной спектроскопии при анализе зольного остатка в целях пожарно-технической экспертизы // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 1 (8). С. 17–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34899062>
11. DeHaan D. Pyrolysis products of structure fires // Journal of the Forensic Science Society. 1988. Vol. 28. Pp. 299–309. DOI: 10.1016/S0015-7368(88)72856-X
12. Almirall J.R., Furton K.G. Characterization of background and pyrolysis products that may interfere with the forensic analysis of fire debris // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2004. Vol. 71. Issue 1. Pp. 51–67. DOI: 10.1016/S0165-2370(03)00098-6
13. Шеков А.А., Плотникова Г.В. Факторы, влияющие на обнаружение и идентификацию интенсификаторов горения методом газовой хроматографии // Эксперт-криминалист. 2019. № 1. С. 36–38.
14. Pena-Pereira F., Costas-Mora I., Lavilla I., Bendicho C. Rapid screening of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in waters by directly suspended droplet microextraction-microvolume fluorospectrometry // Talanta. 2012. Vol. 89. Pp. 217–222. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.11.084
15. Huang Y., Wei J., Song J., Chen M., Luo Y. Determination of low levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by high performance liquid chromatography with tandem fluorescence and diode-array detectors // Chemosphere. 2013. Vol. 92. Pp. 1010–1016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.03.035
16. Peschier L.J.C., Grutters M.M.P., Hendrikse J.N. Using alkylate components for classifying gasoline in fire debris samples // Journal of Forensic Sciences. 2018. Vol. 63. Issue 2. Pp. 420–430. DOI: 10.1111/1556-4029.13563
17. Ying-yu L., Dong L., Hao S. An analysis of background interference on fire debris // Procedia Engineering. 2013. Vol. 52. Pp. 664–670. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.203
18. Stauffer E. Concept of pyrolysis for fire debris analysts // Science & Justice. 2003. Vol. 43. Issue 1. Pp. 29–40. DOI: 10.1016/S1355-0306(03)71738-9
19. Alkurdi F., Karabet F., Dimashki M. Characterization, concentrations and emission rates of polycyclic aromatic hydrocarbons in the exhaust emissions from in-service vehicles in Damascus // Atmospheric Research. 2013. Issue 120–121. Pp. 68–77. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.08.003
20. Yang B., Zhou L., Xue N., Li F., Li Y., Vogt R.D. et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Huanghuai Plain, China: Comparison of three receptor models // Science of the Total Environment. 2013. Vol. 443. Pp. 31–39. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.094
21. Зырянов В.С. Влияние продуктов термического разложения автомобильного коврика на обнаружение и идентификацию инициаторов горения методом флуоресцентной спектроскопии // Научный дайджест Восточно-Сибирского института МВД России. 2019. № 1 (1). С. 233–238. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42349681>
22. Плотникова Г.В., Кузнецов К.Л., Малышева С.Ф. Особенности исследования полиуретана при поджогах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. Т. 28. № 2. С. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.31-38
23. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: методическое пособие. М. : ВНИИПО, 2010. 90 с.

REFERENCES

1. Enders A.I. The main aspects of the implementation of counteraction to the suppression of traces of crimes by an example of arson. *Philosophy of Law*. 2020; 1:170-173. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42718469> (rus).
2. Cacho J.I., Campillo N., Aliste M., Viñas P., Hernández-Córdoba M. Headspace sorptive extraction for the detection of combustion accelerants in fire debris. *Forensic Science International*. 2014; 238:26-32. DOI: 10.1016/j.forsciint.2014.02.006
3. Udilov T.V. The study of improvised incendiary compositions by gas-liquid partition chromatography. *Forensic examination*. 2015; 4:75-79. (rus).

4. Mogilnikova A.V. Investigation of diesel fuels by fluorescence spectroscopy in the investigation of arson. *Kriminalistika: vchera, segodnya, zavtra/Forensics: yesterday, today, tomorrow*. 2020; 4:85-92. DOI: 10.24411/2587-9820-2020-10057 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44078353> (rus).
5. Pert A.D., Baron M.G., Birkett J.W. Review of analytical techniques for arson residues. *Journal of Forensic Sciences*. 2006; 51(5):1033-1049. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2006.00229.x
6. Klapyuk I.V., Cheshko I.D. The discovery of traces of light oil on the fire spot at the case of arson. *Bulletin of the St. Petersburg university of the state fire service EMERCOM of Russia*. 2012; 3:38-43. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V43/6.pdf> (rus).
7. Bruno T.J., Lovestead T.M., Huber M.L. Prediction and preliminary standardization of fire debris constituents with the advanced distillation curve method. *Journal of Forensic Sciences*. 2011; 56(S1):S192-S202. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2010.01628.x
8. Siegel J.A., Fisher J., Gilna C., Spadafora A., Krupp D. Fluorescence of Petroleum products. I. Three-dimensional fluorescence plots of motor oils and lubricants. *Journal of Forensic Sciences*. 1985; 30(3):741-759. DOI: 10.1520/JFS11008J
9. Vorontsova A.A., Kalashnikov D.V., Lipsky A.A., Asatov O.A. Problems and prospects for the use of fire-technical experts, modern methods of detection and study tools for arson. *Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia*. 2017; 2(23):72-77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29344433> (rus).
10. Gaponenko M.V., Voroshilov R.F., Dolgushina L.V. Use of the fluorescence spectroscopy method for analyzing the ash residue for fire and technical expertise. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2018; 1:17-22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34899062> (rus).
11. DeHaan D. Pyrolysis products of structure fires. *Journal of the Forensic Science Society*. 1988; 28:299-309. DOI: 10.1016/S0015-7368(88)72856-X
12. Almirall J.R., Furton K.G. Characterization of background and pyrolysis products that may interfere with the forensic analysis of fire debris. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2004; 71(1):51-67. DOI: 10.1016/S0165-2370(03)00098-6
13. Shekov A.A., Plotnikova G.V. Factors affecting detection and identification of accelerants using the gas chromatography method. *Expert-Criminalist*. 2019; 1:36-38. (rus).
14. Pena-Pereira F., Costas-Mora I., Lavilla I., Bendicho C. Rapid screening of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in waters by directly suspended droplet microextraction-microvolume fluorospectrometry. *Talanta*. 2012; 89:217-222. DOI: 10.1016/j.talanta.2011.11.084
15. Huang Y., Wei J., Song J., Chen M., Luo Y. Determination of low levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by high performance liquid chromatography with tandem fluorescence and diode-array detectors. *Chemosphere*. 2013; 92:1010-1016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.03.035
16. Peschier L.J.C., Grutters M.M.P., Hendrikse J.N. Using alkylate components for classifying gasoline in fire debris samples. *Journal of Forensic Sciences*. 2018; 63(2):420-430. DOI: 10.1111/1556-4029.13563
17. Ying-yu L., Dong L., Hao S. An analysis of background interference on fire debris. *Procedia Engineering*. 2013; 52:664-670. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.203
18. Stauffer E. Concept of pyrolysis for fire debris analysts. *Science & Justice*. 2003; 43(1):29-40. DOI: 10.1016/S1355-0306(03)71738-9
19. Alkurdi F., Karabet F., Dimashki M. Characterization, concentrations and emission rates of polycyclic aromatic hydrocarbons in the exhaust emissions from in-service vehicles in Damascus. *Atmospheric Research*. 2013; 120-121:68-77. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.08.003
20. Yang B., Zhou L., Xue N., Li F., Li Y., Vogt R.D. et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Huanghuai Plain, China: Comparison of three receptor models. *Science of the Total Environment*. 2013; 443:31-39. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.094
21. Zyryanov V.S. Influence of thermal decomposition products of car room on detection and identification of combustion initiators by fluorescence spectroscopy. *Scientific digest of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019; 1(1):233-238. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42349681> (rus).
22. Plotnikova G.V., Kuznetsov K.L., Malysheva S.F. Features of the polyurethane study as a result of arson attacks. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(2):31-38. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.31-38 (rus).
23. Cheshko I.D., Printseva M.Yu., Yatsenko L.A. *Detection and establishment of the composition of flammable and combustible liquids during arson: a methodological guide*. Moscow, VNIPO Publ., 2010; 90. (rus).

*Поступила 22.04.2021, после доработки 09.06.2021;**принята к публикации 24.06.2021**Received January April 22, 2021; Received in revised form June 9, 2021;**Accepted June 24, 2021***Информация об авторах**

СТЕПАНОВ Роман Николаевич, магистрант, «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Железногорск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9959-4835; e-mail: step_rom@mail.ru

ШЕКОВ Анатолий Александрович, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры судебно-экспертной деятельности, Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 673937; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: shek@inbox.ru

ПЛОТНИКОВА Галина Викторовна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры судебно-экспертной деятельности, Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 409919; ORCID: 0000-0003-2721-292X; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

КУЗНЕЦОВ Константин Леонидович, канд. хим. наук, начальник Федерального государственного бюджетного учреждения Судебно-экспертного учреждения Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области; доцент кафедры промышленности и безопасности жизнедеятельности; Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1065126; ORCID: 0000-0002-8091-1247; e-mail: kuznets84@inbox.ru

ТИМОФЕЕВА Светлана Семеновна, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 79973; ORCID: 0000-0001-8427-3732; e-mail: timofeeva@istu.edu

Information about the authors

Roman N. STEPANOV, Master's Student, the Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Zheleznogorsk, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: step_rom@mail.ru

Anatoliy A. SHEKOV, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forensic Expert Activity, East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 673937; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: shek@inbox.ru

Galina V. PLOTNIKOVA, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forensic Expert Activity, East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 409919; ORCID: 0000-0003-2721-292X; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Konstantin L. KUZNETSOV, Cand. Sci. (Chem.), Chief of Federal State Budgetary Establishment of Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service "Testing Fire Laboratory" across the Irkutsk Region; Associate Professor of Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 1065126; ORCID: 0000-0002-8091-1247; e-mail: kuznets84@inbox.ru

Svetlana S. TIMOFEEVA, Dr. Sci (Eng.), Professor, Head of Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 79973; ORCID: 0000-0001-8427-3732; e-mail: timofeeva@istu.edu