
ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 54.061, 54.062, 54.064; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-3-1-13

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

✉Ивахнюк Сергей Григорьевич;

Клаптюк Ирина Викторовна;

Моторьгин Юрий Дмитриевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉sgi78@mail.ru

Аннотация. В настоящее время при решении задач идентификации нефти и нефтепродуктов обычно исследуется их органическая составляющая с использованием методов газожидкостной хроматографии, а также флуоресцентной и инфракрасной спектроскопии. При этом зачастую не учитываются процессы временной и биологической деградации нефтяных углеводородов в окружающей среде.

В качестве альтернативы предлагается новый способ, при котором в качестве параметров для идентификации нефтяных углеводородов используются данные о содержании в них металлических примесей, определяемые с применением современных инструментальных методов элементного анализа. Неизменность соотношений концентраций ряда характеристических металлов во времени открывает новые перспективы при идентификации интенсификаторов горения и мониторинге нефтяных загрязнений, а также позволяет выявлять их виновников вплоть до конкретной скважины.

Ключевые слова: нефтепродукты, чрезвычайная ситуация, аварийный разлив, интенсификаторы горения, расследование пожаров, поджог, тяжелые металлы

Для цитирования: Ивахнюк С.Г., Клаптюк И.В., Моторьгин Ю.Д. Новые подходы к решению задач идентификации при исследовании нефти и нефтепродуктов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 3. С. 1–13. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-3-1-13.

Scientific article

NEW APPROACHES TO SOLVING IDENTIFICATION PROBLEMS IN THE STUDY OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

✉Ivakhnyuk Sergey G.;

Klapyuk Irina V.;

Motorygin Yuriy D.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉sgi78@mail.ru

Abstract. Currently, when solving problems of identification of petroleum and petroleum products, their organic component is usually studied using methods of gas-liquid chromatography,

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

as well as fluorescence and infrared spectroscopy. At the same time, the processes of temporary and biological degradation of petroleum hydrocarbons in the environment are often not taken into account.

As an alternative, a new method is proposed in which data on the content of metallic impurities in them, determined using modern instrumental methods of elemental analysis, are used as parameters for the identification of petroleum hydrocarbons. The immutability of the concentration ratios of a number of characteristic metals over time opens up new prospects for the identification of gorenje intensifiers and monitoring of oil pollution, and also allows to identify their culprits up to a specific well.

Keywords: petroleum products, emergency, emergency spill, combustion intensifier, investigation of fires, arson, heavy metals

For citation: Ivakhnyuk S.G., Klapyuk I.V., Motorygin Yu.D. New approaches to solving identification problems in the study of oil and petroleum products // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 3. P. 1–13. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-3-1-13.

Введение

В существующих методиках исследования нефти и нефтепродуктов (являющихся по сути диагностическими, а не идентификационными) основное внимание уделяется исследованию их органической составляющей с использованием методов газовой и газожидкостной хроматографии, а также флуоресцентной и инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии). Каждый из методов при этом оперирует неким обособленным и ограниченным рядом компонентов, диагностируя, по сути, их, а не нефть или нефтепродукт. При этом не учитывается, что при попадании на литосферу (грунт) или в гидросферу нефть и нефтепродукты подвергаются воздействию различных физико-химических и биохимических процессов, приводящих к изменению их состава – временной и биохимической деградации.

Так, часто используемый для решения диагностических задач при определении содержания нефтепродуктов в почвах и водных средах метод флуоресцентной спектроскопии основан на способности ароматических углеводородов, которые присутствуют в нефти и нефтепродуктах, флуоресцировать под действием ультрафиолетовых лучей [1]. Он позволяет регистрировать примеси растворенных органических веществ в воде, дифференцировать низко- и высокомолекулярные органические вещества, контролировать степень очистки воды от органических соединений [2]. С помощью данного метода можно осуществлять оперативный контроль и мониторинг содержания органических веществ как на водных объектах, так и в почвах [3]. Однако данный метод позволяет фиксировать в исследуемой пробе только наличие ароматических углеводородов. Причем наиболее устойчивыми (менее летучими) в данном случае являются полиароматические соединения [4–6].

К общим недостаткам метода можно отнести:

– обнаружение только способных флуоресцировать веществ, в основном это карбоциклические ненасыщенные органические соединения;

– тушение флуоресценции в условиях перехода энергии возбуждения молекул не в световую, а в тепловую энергию их движения, что существенно затрудняет проведение количественного анализа, а иногда и обнаружение веществ.

Одним из основных аналитических методов для анализа нефти и нефтепродуктов является газовая хроматография [7]. Этот метод широко применяется как при анализе природных и сточных вод на наличие следов нефти и нефтепродуктов [8, 9], так и в пожарно-технической экспертизе при обнаружении следов интенсификаторов горения (средств поджога) [10–12] и установлении группового углеводородного состава исследуемых нефтепродуктов [13].

На рис. 1 в качестве примера приведены хроматограммы керосина ТС-1 и его выгоревших остатков. На хроматограммах данного типа нефтепродуктов всегда выявляется гомологический ряд нормальных алканов в виде характерной «гребенки» от C_6 до C_{14} (рис. 1, кривая 1).

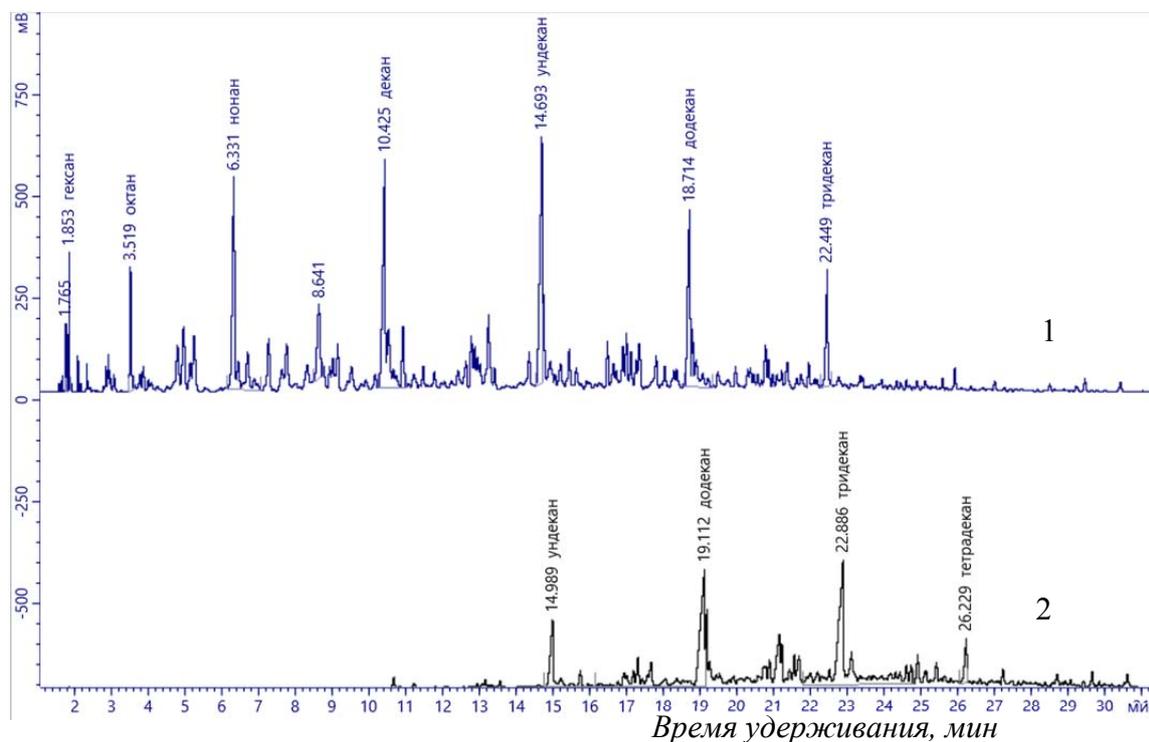


Рис. 1. Хроматограммы керосина ТС-1: 1 – керосин неизмененный; 2 – керосин, подверженный термическому воздействию

Как видно из представленных хроматограмм, при выгорании нефтепродукта происходит уменьшение (вплоть до полного исчезновения) легколетучих компонентов в интервале времен удерживания от 2 до 14 мин (рис. 1, кривая 2). Однако и после выгорания можно диагностировать наличие в исследуемой пробе следов керосина, но уже только по характерному виду хроматограммы и ограниченному набору органических компонентов от C_{11} до C_{14} в интервале времен удерживания от 14 до 30 мин.

Метод газожидкостной хроматографии – один из самых информативных аналитических методов при исследовании нефтепродуктов, позволяющий установить компонентный состав исследуемой пробы. Однако применение данного метода ограничивается тем, что не все компоненты нефти и нефтепродуктов обладают достаточной летучестью, в частности, это касается полициклических ароматических углеводородов [14].

Таким образом, к основным недостаткам данного метода можно отнести:

- ограниченный круг исследуемых соединений, определяемый летучими термостабильными соединениями;
- требования к температуре кипения исследуемых веществ, которая должна быть ниже $350\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- необходимость в эталонных веществах, снятых в идентичных условиях хроматографирования, для идентификации пиков на хроматограмме.

Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии применим для разделения значительно более широкого круга веществ, чем газовая хроматография, поскольку большая часть веществ, входящих в состав нефти и нефтепродуктов, не обладает летучестью,

а некоторые вещества неустойчивы при высоких температурах. При его использовании разделение обычно происходит при комнатной температуре.

Рассматриваемый метод позволяет проводить групповое разделение алифатических и ароматических углеводородов, в том числе полициклических из высококипящих фракций нефти с последующей регистрацией отдельных компонентов УФ- или флуоресцентным детектором [15], что обеспечивает высокую чувствительность данного метода и возможность решать идентификационные задачи.

Однако и этот метод имеет ряд недостатков:

- неспособность к фотометрическому детектированию вещества, не поглощающего свет в интервале от 190 нм до 80 нм;
- высокий показатель вязкости подвижной фазы определяет малые коэффициенты диффузии и высокое сопротивление потоку неподвижной фазы;
- существуют сложности, связанные с определением изомерных соединений и близких по химической структуре;
- низкий коэффициент диффузии образца в подвижной фазе оказывает значительное влияние на скорость анализа;
- детектирование при комнатной температуре затрудняет количественное и качественное определение многокомпонентных образцов вследствие перекрывания пиков [16].

ИК-спектроскопия – широко используемый современный метод анализа веществ с применением инфракрасного излучения, который используется, в том числе, и для диагностики нефтепродуктов [17–20].

Методические материалы, посвященные ИК-спектроскопии, декларируют возможность решения с ее помощью как диагностических, так и идентификационных задач. Под диагностической задачей правильно понимать установление типовой и видовой принадлежности исследуемого объекта, например, в отношении горючей жидкости может быть определено, что она является светлым нефтепродуктом, относящимся к автомобильным бензинам. Считается, что наиболее целесообразно и эффективно в подобных случаях применять ИК-спектроскопию в комплексе с методами жидкостной и газожидкостной хроматографии, а также флуоресцентной спектроскопии.

В свою очередь, под задачей идентификации понимается установление тождественности двух и более образцов нефти или нефтепродуктов, например, полученного с места их аварийного поступления в окружающую среду и из вероятного источника загрязнения.

Продукты нефтяного происхождения, как уже говорилось ранее, представляют собой смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти и нефтяных газов. К нефтепродуктам относятся различные виды топлива (бензин, дизельное топливо, керосин и др.), смазочные материалы, электроизоляционные среды, растворители, нефтехимическое сырьё. Поэтому их основу составляют углеводороды линейного строения (алканы), а также ароматические углеводороды – бензол, его производные и различные конденсированные ароматические соединения (дифенил, нафталин и его гомологи, производные фенантрена и пр.).

Метод ИК-спектроскопии относится к молекулярному анализу и позволяет определять структуру исследуемого вещества (смеси веществ). Однако в силу аддитивного характера ИК-спектров, при исследовании нефтепродуктов все соединения, имеющие схожие структурные фрагменты, будут на спектре давать полосы в одной и той же области. Например, для алканов (парафинов) характерны полосы поглощения в области $2960\text{--}2820\text{ см}^{-1}$ (валентные колебания С–Н связей), $1470\text{--}1340\text{ см}^{-1}$ (деформационные колебания С–Н связей) и $750\text{--}720\text{ см}^{-1}$ (маятниковые колебания метиленовых групп в углеводородных цепях с числом атомов углерода 4 и более).

На рис. 2 приведен ИК-спектр бензина АИ-92 (кривая 1). Как известно, фракционный состав бензинов представляет собой смесь ароматических соединений (в основном гомологов бензола) и алканов нормального и изо-строения. Характеристические частоты поглощения для данных соединений приведены в табл. 1.

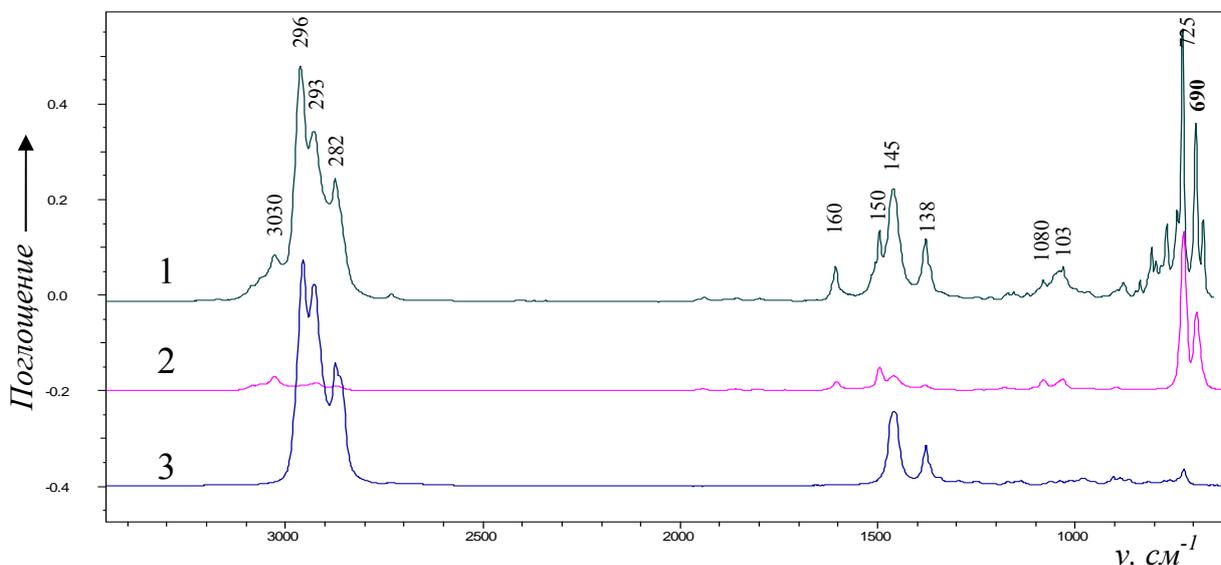


Рис. 2. ИК-спектры автомобильного бензина АИ-92 и некоторых соединений, входящих в его состав: 1 – автомобильный бензин АИ-92; 2 – толуол; 3 – гексан

Как видно из рис. 2, на спектре бензина (кривая 1) присутствуют все вышеуказанные полосы поглощения. Для наглядности также приведены спектры толуола (гомолог бензола) (рис. 2, кривая 2) и гексана (алкан) (рис. 2, кривая 3).

Таблица 1

Характеристические полосы поглощения для соединений, входящих в бензиновую фракцию нефти [21]

Интервал волновых чисел, см ⁻¹	Тип колебания	Примечание
Функциональные группы, характерные для гомологов бензола		
3100–3000	Валентные колебания С–Н связей в ароматических соединениях	Как правило, малоинтенсивная полоса поглощения
Ближе к 1600 Ближе к 1500	Валентные колебания С=C связей ароматического кольца	Полосы малой или средней интенсивности
1150–1000	Плоскостные деформационные колебания С–Н связей для различных типов замещения бензольного кольца	Как правило, группа полос малой или средней интенсивности
800–680	Внеплоскостные деформационные колебания С–Н связей для различных типов замещения бензольного кольца	Группа интенсивных малоразрешенных полос
Функциональные группы, характерные для соединений класса алканов		
2960–2820	Валентные колебания С–Н связей в линейных углеводородах	Две – три интенсивные малоразрешенные полосы поглощения

Интервал волновых чисел, см ⁻¹	Тип колебания	Примечание
1470–1360	Деформационные колебания С–Н связей в линейных углеводородах	Две – три интенсивные полосы поглощения
750–720	Маятниковые колебания метиленовых групп в углеводородных цепях с числом атомов углерода 4 и более [–CH ₂ –CH ₂ –]	Полосы малой интенсивности

В керосинах, как и в дизельных топливах (рис. 3), преобладают алканы нормального и изостроения. Ароматических соединений в данных нефтепродуктах содержится значительно меньше, чем в бензинах (рис. 3, кривая 1), поэтому на ИК-спектрах данных нефтепродуктов (рис. 3, кривые 2, 3) наблюдаем ярко выраженную группу полос поглощения в области 2920–2860 см⁻¹; 1460–1360 см⁻¹ и незначительное поглощение в области 700–780 см⁻¹.

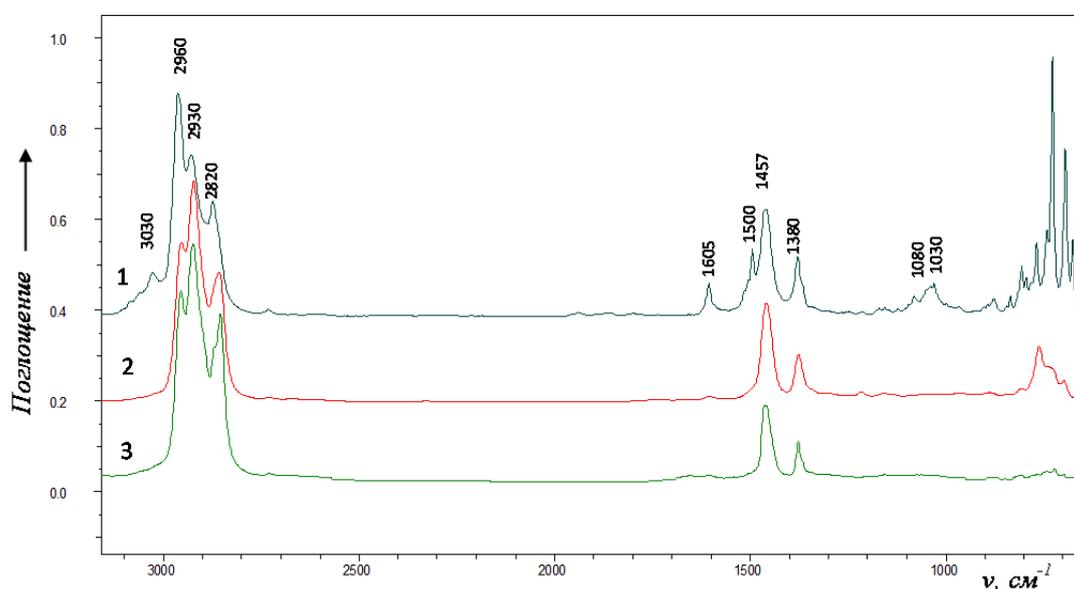


Рис. 3. ИК-спектры некоторых нефтепродуктов: 1 – бензин АИ-92; 2 – керосин ТС-1; 3 – дизельное топливо ДТЛ

С учетом изложенного, применение ИК-спектроскопии при исследовании нефти и нефтепродуктов предоставляет возможность решать диагностические задачи.

Чувствительность рассматриваемого метода значительно ниже по отношению к методам флуоресцентной спектроскопии и газожидкостной хроматографии. Это объясняет применение ИК-спектрометров при экспертизе пожаров, причиной которых является поджог, при условии, что горючая жидкость (интенсификатор горения) изъята в нативном, а не следовом виде, например, в брошенных на месте пожара емкостях [22].

К недостаткам рассматриваемого метода относят:

- трудности при анализе водных растворов, так как сама вода поглощает инфракрасное излучение в широкой области, маскируя сигналы от растворенных веществ;
- невозможность регистрации слабых сигналов из-за малого отношения «сигнал:шум»;
- аддитивный характер спектра: наложение полос поглощения соединений, содержащих одни функциональные группы [23].

Таким образом, доступные в настоящее время методики, основанные на современных аналитических методах, имеют существенные недостатки в части их применения для

решения задач идентификации нефти и нефтепродуктов, основной из которых является использование в качестве идентифицирующих параметров сведений о качественном и количественном содержании их органических компонентов, подвергающихся временной и биологической деградации.

Нефть и нефтепродукты являются как существенными загрязнителями природной среды, так и причиной пожаров пролива (разлития), происходящих в результате их аварийного истечения. Важно отметить, что нефтепродукты зачастую применяются в криминальных целях в качестве интенсификаторов горения. При этом объекты преступных посягательств могут иметь различную субъектную принадлежность – ими в последнее время становятся нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия, нефтебазы, магистральные нефтепроводы, объекты нефтедобычи.

С целью ввести в заблуждение следствие и уйти от ответственности, подобные преступления могут маскироваться под техногенные аварии путем искусственного привнесения интенсификаторов горения на основе жидких нефтяных углеводородов. При этом факт обнаружения при осмотре места взрыва или пожара следов применения интенсификаторов горения является одним из основных квалификационных признаков поджога [10]. Наличие у следователя (дознателя) информации о примененном интенсификаторе горения выступает в качестве основания для выдвижения версии о лице, совершившем поджог [24].

Материалы и методы исследования

Предлагаемое решение относится к способам идентификации нефтяных углеводородов [25]. Экспериментально установлено, что относительные содержания и парные отношения металлов-индикаторов являются наиболее устойчивыми к временной и биологической деградации, а также термической деструкции критериями при идентификации нефти и нефтепродуктов [26–28].

Диагностирование металлов-индикаторов в образцах нефтепродуктов проводили на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой марки VG Plasma Quad PQ. Использовались стандартные условия измерений, рекомендованные в инструкции по эксплуатации прибора. Градуировка спектрометра осуществлялась по многоэлементным стандартным растворам 0,5 % азотной кислоты, с концентрациями 20, 50 и 100 мкг/дм³ для каждого анализируемого элемента с добавкой в каждый стандарт индия в качестве внутреннего стандарта с концентрацией в растворе 100 мкг/дм³. Градуировочные многоэлементные растворы готовились весовым методом на электронных аналитических весах разбавлением 0,5 % азотной кислотой из основных стандартных растворов для каждого элемента с концентрацией 1 г/дм³. Основные стандарты для каждого элемента были приготовлены растворением чистых металлов в азотной кислоте.

В разработанном способе в качестве идентифицирующих признаков применяются количественные показатели содержания примесей металлов-индикаторов, в частности ванадия, никеля и хрома. При этом в качестве критериев тождественности используют парные отношения концентраций металлов-индикаторов, их функциональные зависимости, в том числе представленные в виде векторов в многомерном пространстве, а также относительное соотношение парных отношений концентраций металлов-индикаторов (их абсолютные значения, ранжирование, размах значений).

Парные отношения концентраций металлов-индикаторов для различных проб рассчитываются по формуле:

$$C_{(\text{металл 1, проба 1})} / C_{(\text{металл 2, проба 1})} = C_{(\text{металл 1, проба 2})} / C_{(\text{металл 2, проба 2})},$$

где C – концентрация определенного металла в конкретной пробе нефтепродукта.

Например, $C_{(V, \text{ проба } \# 7)} / C_{(Ni, \text{ проба } \# 7)} = C_{(V, \text{ проба } \# 13)} / C_{(Ni, \text{ проба } \# 13)}$.

Относительные соотношения парных отношений металлов-индикаторов рассчитываются по формуле:

$$\begin{aligned} & (C_{\text{металл 1, проба 1}} / C_{\text{металл 2, проба 1}}) / C_{(\Sigma \text{ металлов пробы 1})} = \\ & = (C_{\text{металл 1, проба 2}} / C_{\text{металл 2, проба 2}}) / C_{(\Sigma \text{ металлов пробы 2})}, \end{aligned}$$

где $C_{(\Sigma \text{ металлов пробы 1})}$ – суммарная концентрация металлов-индикаторов в конкретной пробе нефтепродукта.

К учету принимаются:

- абсолютные значения как абсолютные величины полученных значений;
- ранжирование в понимании расположения полученных значений в последовательности их убывания или нарастания;
- размах значений как разность между наибольшим и наименьшим значением.

Функциональные зависимости концентраций металлов-индикаторов представляют собой, например, функции отношения содержания одного элемента к другому для всех возможных пар металлов при принятии общей суммы примесей металлов в каждой пробе за 100 % и имеют следующий вид:

$$C_{\text{(металл 1)}} / C_{\text{(металл 2)}} = f(C_{\text{(металл 3)}} / C_{\text{(металл 4)}}).$$

Например, $C_{\text{Ni}} / C_{\text{Cu}} = f(C_{\text{V}} / C_{\text{Cr}})$.

Графическое представление функциональных зависимостей представлено на рис. 4.

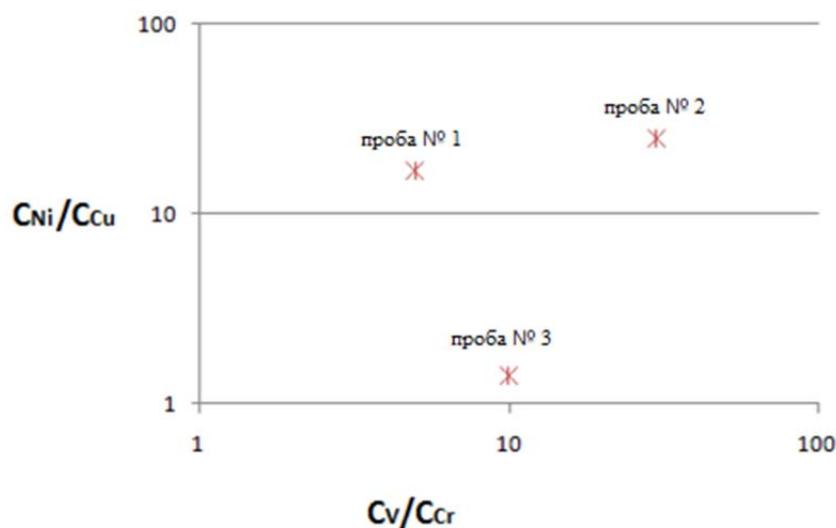


Рис. 4. Графическое представление функциональных зависимостей концентраций металлов-индикаторов в двумерном пространстве

Исходя из специфики задач, решаемых с применением предлагаемого способа идентификации, связанных, в том числе, с производством процессуальных действий в рамках расследования уголовных дел, в качестве примера приводятся результаты проведенного лабораторного эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе эксперимента проводилась сравнительная идентификация образца светлого нефтепродукта, условно изъятого с места пожара (проба № 1'), с тремя образцами различных светлых нефтепродуктов, условно изъятых у подозреваемых лиц (пробы № 1–3).

Первоначально исследование проб проводилось в целях количественного диагностирования в них примесных металлов-индикаторов для формирования своеобразного «отпечатка пальца» для каждого образца.

В качестве критериев для формирования выбирались парные отношения концентраций следующих металлов-индикаторов: V, Ni и Cr.

Сведения о средних значениях выбранных показателей по результатам пяти измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сведения о средних значениях парных отношений концентраций металлов-индикаторов

Параметр	Проба			
	1'	1	2	3
C_V / C_{Ni}	2,4	4,7	2,6	1,3
C_V / C_{Cr}	46	31	48	1,2
C_{Ni} / C_{Cr}	19	6,6	19	0,9

Полученные результаты измерительной информации, свидетельствующие о совпадении значений парных отношений концентраций металлов-индикаторов, с учетом 10-процентного уровня интервала варьирования, соответствующего порогу дискриминации для выявления неидентичных проб, позволяют выдвинуть предположение об идентичности проб № 1', 2.

Заключение

Результаты аналитических исследований нефти и нефтепродуктов выступают в качестве элементов доказательной базы при расследовании причин аварий и происшествий, в том числе сопровождаемых пожарами. С мест происшествий изымают носители информации о загрязнителях окружающей среды, а также о применении нефтепродуктов в качестве интенсификаторов горения – остатки пожарной нагрузки (фрагменты строительных материалов, строительный мусор и т.п.) и емкости (их фрагменты), которые потенциально могли являться тарой для транспортировки горючих жидкостей к месту их применения. В ходе расследования пожара получают образцы веществ с кожных покровов злоумышленников или принадлежащих им предметов (следы нефтепродуктов на одежде и обуви, горючие жидкости, изъятые из склада, гаража, автомобиля).

Предлагаемый способ идентификации нефти и нефтепродуктов позволяет объективно и достоверно устанавливать как виновников нефтяных разливов, например, конкретный танкер в порту, так и связь между подозреваемым и изъятыми с места пожара вещественными доказательствами.

Дополнительным очевидным преимуществом предложенного способа является возможность обнаружения металлов-индикаторов на предметах окружающей обстановки спустя продолжительные периоды времени, в то время, как органические составляющие нефти и нефтепродуктов подвергнутся значительной деструкции или полностью исчезнут.

Список источников

1. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 90 с.

2. Головач А.П. Исследование органических примесей в воде методом флуоресцентной спектроскопии // Проблемы водоснабжения, водоотведения и энергосбережения в западном регионе Республики Беларусь: сб. материалов Междунар.

- науч.-техн. конф., посвящ. 65-летию победы в Великой Отечественной войне. Брест: БрГТУ, 2010. С. 274–277.
3. Способ обнаружения на месте пожара остатков ароматических углеводородов, входящих в состав интенсификаторов горения: пат. № 2497102 Рос. Федерация: МПК G01N 21/64 / Чешко И.Д., Клаптюк И.В., Принцева М.Ю., Ельяшевич Г.К., Розова Е.Ю. № 2011131161/28; заявл. 27.07.2011; опубл. 10.02.2013; Бюл. № 4.
4. Клименков В.Г., Борзенко А.Г. Определение полициклических ароматических углеводородов в воде на основе многокомпонентного анализа флуориметрических данных // Вестник Московского университета. Сер. 2: Химия. 2005. Т. 46. № 6. С. 392–394.
5. Применение метода твердофазной люминесценции для определения индикаторных соотношений полициклических ароматических углеводородов / Е.В. Волкова [и др.] // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16. Вып. 4. С. 377–382.
6. Воронцов А.М., Павлова Ю.В., Никанорова М.Н. Лабораторный комплект для экспресс-идентификации нефтепродуктов и определения источника загрязнения // Аналитические приборы: тезисы докладов III Всерос. конф. СПб., 2005. С. 58–59.
7. Егазьянц С.В. Хроматографические методы анализа нефтепродуктов // Вестник Московского университета. Сер. 2: Химия. 2009. Т. 50. № 2. С. 75–113.
8. ГОСТ 31953–2012. Вода. Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 13.04.2024).
9. Павлова Ю.В. Хроматографическая идентификация при экспертном исследовании нефтепродуктов в объектах окружающей среды: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2007. 156 с.
10. Диагностика инициаторов горения, используемых для поджогов, на основании исследования летучих компонентов горючих жидкостей / М.А. Галишев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2005. № 3. С. 64–71.
11. Обнаружение и исследование летучих органических компонентов горючих жидкостей (средств поджога) / Л.А. Яценко [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 78 с.
12. Яценко Л.А., Воронцова А.А., Чешко И.Д. Идентификация нефтепродуктов и технических жидкостей методом газожидкостной хроматографии по индексам удерживания // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2017. № 1. С. 6–16.
13. ГОСТ 52714–2018. Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 13.04.2024).
14. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Экологический мониторинг супертоксикантов. М., 1996. 318 с.
15. Басова Е.М., Иванов В.М. Современное состояние высокоэффективной жидкостной хроматографии полициклических ароматических углеводородов // Вестник Московского университета. Сер. 2: Химия. 2011. Т. 52. № 3. С. 163–174.
16. Илларионова Е.А., Сыроватский И.П. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Теоретические основы метода: учеб. пособие. Иркутск: ИГМУ, 2018. 50 с.
17. ГОСТ Р 54039–2010. Качество почв. Экспресс-метод ИК-спектроскопии для определения количества и идентификации загрязнения почв нефтепродуктами. М.: Стандартинформ, 2011. 9 с.
18. ГОСТ 32338–2022 Бензин. Определение МТБЭ, ЭТБЭ, ТАМЭ, ДИПЭ, метанола, этанола и трет-бутанола методом инфракрасной спектроскопии. М.: Рос. ин-т стандартиз., 2022. 16 с.
19. ГОСТ EN 14078–2016. Нефтепродукты жидкие. Определение содержания метиловых эфиров жирных кислот (FAME) в средних дистиллятах методом инфракрасной

спектрометрии // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 13.04.2024).

20. Диагностика и идентификация горючих жидкостей при исследовании объектов пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / М.Ю. Принцева [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016. 181 с.

21. Кросс А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию. М.: Изд-во иностран. лит-ры, 1961. 110 с.

22. Андреева Е.Д., Чешко И.Д. Применение ИК-спектроскопии при исследовании объектов, изъятых с места пожара: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 91 с.

23. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) / И.И. Леоненко [и др.] // Методы и объекты химического анализа. 2010. Т. 5. № 2. С. 58–72.

24. Кривых Н.Н. Особенности использования специальных знаний об инициаторах горения при расследовании преступлений, связанных с поджогами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2007. 29 с.

25. Способ идентификации инициаторов горения на основе нефтяных углеводородов: пат. № 2811676 С1 Рос. Федерация: МПК G01N 33/28 / Ивахнюк С.Г., Гавкалюк Б.В., Смирнов А.С. [и др.]; заявитель С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России; № 2023103291; заявл. 19.12.2022; опубл. 15.01.2024.

26. Ивахнюк С.Г. Исследование возможности идентификации термически измененных нефтепродуктов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 89–95. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-89-95.

27. Идентификация источников нефтяных загрязнений методом инфракрасной спектроскопии / В.В. Семенов [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 9. С. 14–21. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-9-14-21.

28. Ивахнюк С.Г. Приборно-методическое обоснование процедуры идентификации консервативных компонентов жидких углеводородов и остатков их временной и биodeградации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1 (24). С. 140–146. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.92.61.014.

References

1. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Yacenko L.A. Obnaruzhenie i ustanovlenie sostava legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej pri podzhogah: metod. posobie. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2010. 90 s.

2. Golovach A.P. Issledovanie organicheskikh primesej v vode metodom fluorescentnoj spektroskopii // Problemy vodosnabzheniya, vodootvedeniya i energosberezheniya v zapadnom regione Respubliki Belarus': sb. materialov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashch. 65-letiyu pobedy v Velikoj Otechestvennoj vojne. Brest: BrGTU, 2010. S. 274–277.

3. Sposob obnaruzheniya na meste pozhara ostatkov aromaticeskikh uglevodorodov, vhdoyashchih v sostav intensivatorov gorenija: pat. № 2497102 Ros. Federaciya: MПК G01N 21/64 / Cheshko I.D., Klapyuk I.V., Princeva M.Yu., El'yashevich G.K., Rozova E.Yu. № 2011131161/28; zayavl. 27.07.2011; opubl. 10.02.2013, Byul. № 4.

4. Klimenkov V.G., Borzenko A.G. Opredelenie policiklicheskih aromaticeskikh uglevodorodov v vode na osnove mnogokomponentnogo analiza fluorimetriceskikh dannyh // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 2: Himiya. 2005. T. 46. № 6. S. 392–394.

5. Primenenie metoda tverdofaznoj lyuminescencii dlya opredeleniya indikatornyh sootnoshenij policiklicheskih aromaticeskikh uglevodorodov / E.V. Volkova [i dr.] // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Ser.: Himiya. Biologiya. Ekologiya. 2016. T. 16. Vyp. 4. S. 377–382.

6. Voroncov A.M., Pavlova Yu.V., Nikanorova M.N. Laboratornyj komplekt dlya ekspress-identifikacii nefteproduktov i opredeleniya istochnika zagryazneniya // *Analiticheskie pribory: tezisy dokladov III Vseros. konf. SPb.*, 2005. S. 58–59.
7. Egazar'yanc S.V. Hromatograficheskie metody analiza nefteproduktov // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 2: Himiya*. 2009. T. 50. № 2. S. 75–113.
8. GOST 31953–2012. Voda. Opredelenie nefteproduktov metodom gazovoj hromatografii // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii*. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 13.04.2024).
9. Pavlova Yu.V. Hromatograficheskaya identifikaciya pri ekspertnom issledovanii nefteproduktov v ob'ektah okruzhayushchej sredy: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2007. 156 s.
10. Diagnostika iniciatorov goreniya, ispol'zuyushchih dlya podzhogov, na osnovanii issledovaniya letuchih komponentov goryuchih zhidkostej / M.A. Galishev [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2005. № 3. S. 64–71.
11. Obnaruzhenie i issledovanie letuchih organicheskikh komponentov goryuchih zhidkostej (sredstv podzhoga) / L.A. Yacenko [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 78 s.
12. Yacenko L.A., Voroncova A.A., Cheshko I.D. Identifikaciya nefteproduktov i tekhnicheskikh zhidkostej metodom gazozhidkostnoj hromatografii po indeksam uderzhivaniya // *Nadzornaya deyatelnost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti*. 2017. № 1. S. 6–16.
13. GOST 52714–2018. Benziny avtomobil'nye. Opredelenie individual'nogo i gruppovogo uglevodorodnogo sostava metodom kapillyarnoj gazovoj hromatografii // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii*. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 13.04.2024).
14. Majstrenko V.N., Hamitov R.Z., Budnikov G.K. *Ekologicheskij monitoring supertoksikantov*. M., 1996. 318 s.
15. Basova E.M., Ivanov V.M. Sovremennoe sostoyanie vysokoeffektivnoj zhidkostnoj hromatografii policiklicheskih aromaticeskikh uglevodorodov // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 2: Himiya*. 2011. T. 52. № 3. S. 163–174.
16. Illarionova E.A., Syrovatskij I.P. *Vysokoeffektivnaya zhidkostnaya hromatografiya. Teoreticheskie osnovy metoda: ucheb. posobie*. Irkutsk: IGMU, 2018. 50 s.
17. GOST R 54039–2010. Kachestvo pochv. Ekspress-metod IK-spektroskopii dlya opredeleniya kolichestva i identifikacii zagryazneniya pochv nefteproduktami. M.: Standartinform, 2011. 9 s.
18. GOST 32338–2022 Benzin. Opredelenie MTBE, ETBE, TAME, DIPE, metanola, etanola i tret-butanola metodom infrakrasnoj spektroskopii. M.: Ros. in-t standartiz., 2022. 16 s.
19. GOST EN 14078–2016. Nefteprodukty zhidkie. Opredelenie soderzhaniya metilovyh efirov zhirnyh kislot (FAME) v srednih distillyatah metodom infrakrasnoj spektrometrii // *Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii*. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 13.04.2024).
20. Diagnostika i identifikaciya goryuchih zhidkostej pri issledovanii ob'ektov pozharo-tehnicheskoy ekspertizy: ucheb. posobie / M.Yu. Princeva [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2016. 181 s.
21. Kross A. *Vvedenie v prakticheskuyu infrakrasnuyu spektroskopiyu*. M.: Izd-vo inostran. lit-ry, 1961. 110 s.
22. Andreeva E.D., Cheshko I.D. *Primenenie IK-spektroskopii pri issledovanii ob'ektov, iz'yatyh s mesta pozhara: metod. posobie*. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2010. 91 s.
23. Metody opredeleniya nefteproduktov v vodah i drugih ob'ektah okruzhayushchej sredy (obzor) / I.I. Leonenko [i dr.] // *Metody i ob'ekty himicheskogo analiza*. 2010. T. 5. № 2. S. 58–72.
24. Krivyh N.N. *Osobennosti ispol'zovaniya special'nyh znaniy ob iniciatorah goreniya pri rassledovanii prestuplenij, svyazannyh s podzhogami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. Volgograd, 2007. 29 s.

25. Sposob identifikacii iniciatorov goreniya na osnove neftyanyh uglevodorodov: patent № 2811676 C1 Ros. Federaciya: MPK G01N 33/28 / Ivahnyuk S.G., Gavkalyuk B.V., Smirnov A.S. [i dr.]; zayavitel' S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii; № 2023103291; zayavl. 19.12.2022; opubl. 15.01.2024.

26. Ivahnyuk S.G. Issledovanie vozmozhnosti identifikacii termicheski izmenennyh nefteproduktov metodom atomno-emissionnogo spektral'nogo analiza // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 3 (67). S. 89–95. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-89-95.

27. Identifikaciya istochnikov neftyanyh zagryaznenij metodom infrakrasnoj spektroskopii / V.V. Semenov [i dr.] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2022. № 9. S. 14–21. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-9-14-21.

28. Ivahnyuk S.G. Priborno-metodicheskoe obosnovanie procedury identifikacii konservativnyh komponentov zhidkih uglevodorodov i ostatkov ih vremennoj i biodegradacii // Sibirskij požarno-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 1 (24). S. 140–146. DOI: 10.34987/ /vestnik.sibpsa.2022.92.61.014.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 14.05.2024; одобрена после рецензирования: 28.05.2024;

принята к публикации: 30.05.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 14.05.2024; approved after review: 28.05.2024;

accepted for publication: 30.05.2024

Сведения об авторах:

Ивахнюк Сергей Григорьевич, заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>, SPIN-код: 2144-4276

Клаптюк Ирина Викторовна, начальник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), кандидат технических наук, e-mail: klaptuk.i@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>, SPIN-код: 1976-9134

Моторыгин Юрий Дмитриевич, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: fire-risk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN-код: 3913-7751

Information about authors:

Ivakhnyuk Sergey G., deputy head of the scientific research institute of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>, SPIN: 2144-4276

Klaptuk Irina V., head of the department of instrumental methods and technical means of fire expertise of the research center for fire expertise of the scientific research institute of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, Saint-Petersburg, Oktyabrskaya nab., 35), candidate of technical sciences, e-mail: klaptuk.i@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0815-0145>, SPIN: 1976-9134

Motorygin Yuriy D., professor of the department of criminalistics and engineering expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: fire-risk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN: 3913-7751