

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Научная статья  
УДК 66.061.35+547-38  
EDN: ODGSBO  
DOI: 10.21285/achb.907



## Глубокие эвтектические растворители на основе глицерина как селективные экстрагенты для извлечения ароматических углеводородов и нефтяных кислот из модельного топлива

С.А. Нифтуллаева, Е.В. Мамедова, И.Г. Мамедов✉

Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** Целью проведенного исследования являлось извлечение различных типов углеводородов из модельного топлива при помощи глубоких эвтектических растворителей на основе глицерина. Данные растворители синтезировали путем смешивания глицерина в качестве донора водородной связи и хлорида аммония или ацетата триэтиламмония  $[TЭА]^+[AcO]^-$  в качестве акцептора водородной связи при комнатной температуре в объемном соотношении 1:6. В качестве компонентов модельного топлива была выбрана смесь *n*-декана и *n*-гексадекана. Для экстракции смесей бензола, этилбензола (5%), *p*-, *m*-, *o*-крезола, флуоренона (3,5%) и нефтяных кислот (25%) указанные глубокие эвтектические растворители применяли при комнатной температуре, а также при температуре 60 °С при атмосферном давлении. Эффективность экстракции оценивали с помощью  $^1H$ -спектроскопии ядерного магнитного резонанса. Результаты показали, что *p*-, *m*- и *o*-крезолы полностью извлекаются из модельного топлива при использовании исследованных глубоких эвтектических растворителей в одну стадию. Установлено, что наибольшей эффективностью извлечения обладает глубокий эвтектический растворитель на основе глицерина и ацетата триэтиламмония. Степень извлечения для бензола, этилбензола и флуоренона при комнатной температуре достигается за 3 часа перемешивания (75, 25 и 53% соответственно). Следует отметить, что *m*- и *o*-крезолы полностью извлекались за 1 час в одну стадию с помощью глубокого эвтектического растворителя на основе ацетата триэтиламмония, а полное извлечение ароматических кислот из смеси нефтяных кислот в модельном топливе удалось с помощью глубокого эвтектического растворителя, полученного смешиванием хлорида аммония и глицерина.

**Ключевые слова:** глубокие эвтектические растворители, доноры и акцепторы водородной связи, жидкостно-жидкостная экстракция, ядерный магнитный резонанс

**Для цитирования:** Нифтуллаева С.А., Мамедова Е.В., Мамедов И.Г. Глубокие эвтектические растворители на основе глицерина как селективные экстрагенты для извлечения ароматических углеводородов и нефтяных кислот из модельного топлива // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 1. С. 129–134. DOI: 10.21285/achb.907. EDN: ODGSBO.

CHEMICAL TECHNOLOGY

Original article

## Deep eutectic solvents based on glycerol as selective extractants for the recovery of aromatic hydrocarbons and petroleum acids from model fuel

Sayad A. Niftullayeva, Yegana V. Mamedova, Ibrahim G. Mamedov✉

Baku State University, Baku, Azerbaijan Republic

**Abstract.** The study set out to extract various types of hydrocarbons from model fuels using deep eutectic solvents based on glycerol. These solvents were synthesised by mixing glycerol as acting as a hydrogen bond donor with ammonium chloride or triethylammonium acetate  $[tea]^+[AcO]^-$  acting as a hydrogen bond acceptor at room temperature in a volume ratio of 1:6. A mixture of *n*-decane and *n*-hexadecane was selected as components of the model fuel. For the extraction of mixtures of benzene, ethylbenzene (5%), *p*-, *m*-, *o*-cresol, fluorenone (3.5%) and petroleum acids (25%), these deep

© Нифтуллаева С.А., Мамедова Е.В., Мамедов И.Г., 2024

eutectic solvents were used at room temperature, as well as at a temperature of 60 °C, and at atmospheric pressure. Extraction efficiency was evaluated by  $^1\text{NMR}$  spectroscopy. The results demonstrated the complete single-stage extraction of *p*-, *m*- and *o*-cresols from the model fuel using the studied deep eutectic solvents. A deep eutectic solvent based on glycerol and triethylammonium acetate was found to have the highest extraction efficiency. The recovery rates for benzene, ethylbenzene, and fluorenone at room temperature are achieved in 3 hours of stirring (75, 25, and 53%, respectively). *M*- and *o*-cresols were fully recovered in 1 hour in a single step using a deep eutectic solvent based on triethylammonium acetate, while complete extraction of aromatic acids from a mixture of petroleum acids in model fuel was achieved using a deep eutectic solvent obtained by mixing ammonium chloride and glycerol.

**Keywords:** deep eutectic solvents, hydrogen bond donors and acceptors, liquid-liquid extraction, nuclear magnetic resonance

**For citation:** Niftullayeva S.A., Mamedova Y.V., Mamedov I.G. Deep eutectic solvents based on glycerol as selective extractants for the recovery of aromatic hydrocarbons and petroleum acids from model fuel. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(1):129-134. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.907. EDN: ODGSBO.

## ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в составе дизельного топлива содержатся различные виды углеводородов. При использовании такого топлива в моторных двигателях в атмосферу выбрасывается большое количество токсичных газов [1]. По этой причине к содержанию ароматических и других гетероатомных соединений в топливе применяются специальные мировые нормы<sup>1</sup>. Для снижения содержания этих соединений до установленных норм используют процесс гидроочистки, но указанный процесс имеет много недостатков (использование дорогостоящего катализатора, расход большого количества водорода, высокое давление, температура и др.). В то же время было установлено, что обессеривание, деароматизация, окислительное обессеривание и экстракция растворителями или ионными жидкостями позволяют получить топливо более высокого качества без дорогостоящих вложений, которые требуются для гидроочистки [2].

В процессе жидкостно-жидкостной экстракции (ЖЖЭ) ароматических соединений наибольшее распространение получили *N*-формилморфолин, сульфолан, диметилсульфоксид и гликоли. Однако эти растворители имеют различную природу, способность к извлечению и эффективность экстракции (например, *N*-формилморфолин работает при температуре и давлении, отличных от температуры окружающей среды), что ограничивает их применение в данном направлении [3–6]. С учетом этого были созданы растворители нового поколения, называемые ионными жидкостями, которые используются в качестве экстрагентов для удаления вышеуказанных соединений. Такие типы растворителей требуют меньшего потребления энергии, более низкой вязкости, более высокой термической стабильности и меньшего количества стадий процесса [7–9]. В то же время литературные данные о некоторых ионных жидкостях показали, что они являются токсичными веществами [10, 11].

Таким образом, необходимо найти альтернативные и более «зеленые» растворители для использования в процессах экстракции, органического синтеза, электрохимии и т.д. Глубокие эвтектические растворители (DES) являются аналогами ионных жидкостей и обладают схожими с ними свойствами. Они состоят из двух или более компонентов, имеют более низкие температуры плавления, чем каждый из компонентов в отдельности. Готовить DES проще, чем

ионные жидкости. Эти растворители недорогие, биоразлагаемые и нетоксичные [12–14].

В последние годы авторы некоторых исследований применяли различные DES (бромид метилтрифенилфосфония, бромид тетрабутилфосфония, бромид тетрапропиламмония, хлорид холина) для разделения ароматических углеводородов от алифатических. DES на основе холина хлорида показал хорошие результаты для бензола, толуола, *p*-ксилола и этилбензола [15–19].

В ходе проведенной работы для экстракции ароматических углеводородов и нефтяных кислот получены новые типы DES на основе глицерина в качестве донора водородной связи, хлорида аммония или ацетата триэтиламмония  $[\text{TЭА}]^+[\text{AcO}]^-$  в качестве акцептора водородной связи. Для экстракции применяли смеси бензола, этилбензола (5%), *p*-, *m*-, *o*-крезола, флуоренона (3,5%) и нефтяных кислот (25%) в модельном топливе. Одностадийную ЖЖЭ проводили при комнатной температуре и 60 °C. Эффективность разделения исследована методами ядерного магнитного резонанса.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе применялись бензол, этилбензол, *p*-, *m*-, *o*-крезолы, флуоренон, нефтяная кислота, *n*-декан, *n*-гексадекан, глицерин, хлорид аммония фирм Sigma-Aldrich (США) и Merck (Германия). Чистота реагентов составляла выше 99%, и они использовались в том виде, в котором были получены. Ацетат триэтиламмония получали путем смешивания триэтиламина с уксусной кислотой.

Для синтеза DES1 глицерин и хлорид аммония смешивали в объемном соотношении 1:6 в ампуле с завинчивающейся крышкой при комнатной температуре до образования прозрачной гомогенной жидкости. По аналогичной методике готовили DES2 на основе глицерина и ацетата триэтиламмония.

К смеси *n*-декана и *n*-гексадекана добавляли бензол, этилбензол (5%), *p*-, *m*-, *o*-крезолы, флуоренон (3,5%) и нефтяные кислоты (25%). Процесс жидкостно-жидкостной хроматографии осуществляли при молярном соотношении DES к модельному топливу 1:1. Каждый эксперимент проводили в течение 1, 3 и 5 ч при комнатной температуре и температуре 60 °C.

ЯМР-эксперименты проводили на FT-спектрометре Bruker Avance 300 (США) с магнитом UltraShield™

<sup>1</sup>Lattanzio R.K., McCarthy J.E. Tier 3 motor vehicle emission and fuel standards: CRS report. 2014. 14 p. Режим доступа: <https://nationalaglawcenter.org/wp-content/uploads/assets/crs/R43497.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).

(300,130 МГц для  $^1\text{H}$  и 75,468 МГц для  $^{13}\text{C}$ ) с блоком регулирования температуры BVT 3200 в 5-миллиметровых ампулах для образцов и с использованием программного обеспечения Bruker Standard (TopSpin 3.1). Химические сдвиги  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  отнесены к внутреннему тетраметилсилану.  $\text{CDCl}_3$  марки ЯМР использовали для анализа топливных смесей.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Физические свойства глубоких эвтектических растворителей. Физические свойства DES играют важную роль в процессе ЖЖЭ. На основании анализа литературных данных можно сказать, что DES обладают высокой вязкостью и плотностью при комнатной температуре. С повышением температуры эти свойства линейно уменьшаются. Физические свойства (плотность и вязкость) DES1 и DES2 представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Физические свойства глубоких эвтектических растворителей 1 и 2

| Тип растворителя | Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> | Вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с | Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с |
|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| DES1             | 1,2307                                 | 97,384                                 | 32,647                                 |
| DES2             | 1,1949                                 | 120,812                                | 36,780                                 |

Из табл. 1 видно, что оба DES имеют более высокую вязкость при 20 °С, чем при 40 °С. Плотность и вязкость зависят от отдельных компонентов DES, из которых они изготовлены [20].

Эксперименты по жидкостно-жидкостной экстракции. В данной работе DES1 и DES2 использовали для извлечения ароматических соединений и нефтяных кислот из модельного дизельного топлива в различных условиях проведения экспериментов (табл. 2–5). Во всех экспериментах объемное соотношение DES к модельному топливу выбиралось равным 1:1.

**Таблица 2.** Экстракция ароматических углеводородов с глубоким эвтектическим растворителем 1 при комнатной температуре

**Table 2.** Aromatic hydrocarbons extraction by the deep eutectic solvent 1 at room temperature

| Содержание ароматических соединений | DES:топливо (объемное соотношение) | Время смешивания, ч | Эффективность разделения, % |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 1                   | 24                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 3                   | 32                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 5                   | 26                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 1                   | 40                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 3                   | 51                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 5                   | 38                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 1                   | 26                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 3                   | 32                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 5                   | 31                          |
| п-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 98                          |
| м-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 97                          |
| о-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 98                          |

**Таблица 3.** Экстракция ароматических углеводородов с глубоким эвтектическим растворителем 1 при температуре 60 °С

**Table 3.** Aromatic hydrocarbons extraction by the deep eutectic solvent 1 at 60 °С

| Содержание ароматических соединений | DES:топливо (объемное соотношение) | Время смешивания, ч | Эффективность разделения, % |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 1                   | 25                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 3                   | 28                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 5                   | 24                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 1                   | 23                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 3                   | 31                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 5                   | 19                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 1                   | 21                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 3                   | 19                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 5                   | 14                          |

**Таблица 4.** Экстракция ароматических углеводородов с глубоким эвтектическим растворителем 2 при комнатной температуре

**Table 4.** Aromatic hydrocarbons extrzction by the deep eutectic solvent 2 at room temperature

| Содержание ароматических соединений | DES:топливо (объемное соотношение) | Время смешивания, ч | Эффективность разделения, % |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 1                   | 68                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 3                   | 75                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 5                   | 56                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 1                   | 14                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 3                   | 25                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 5                   | 19                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 1                   | 40                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 3                   | 53                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 5                   | 38                          |
| п-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 91                          |
| м-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 100                         |
| о-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 100                         |

**Таблица 5.** Экстракция ароматических углеводородов с глубоким эвтектическим растворителем 2 при температуре 60 °С

**Table 5.** Aromatic hydrocarbons extraction by the deep eutectic solvent 2 at 60 °С

| Содержание ароматических соединений | DES:топливо (объемное соотношение) | Время смешивания, ч | Эффективность разделения, % |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 1                   | 72                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 3                   | 67                          |
| Бензол (5%)                         | 1:1                                | 5                   | 54                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 1                   | 12                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 3                   | 16                          |
| Этилбензол (5%)                     | 1:1                                | 5                   | 14                          |
| п-Крезол (3,5%)                     | 1:1                                | 1                   | 78                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 1                   | 20                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 3                   | 21                          |
| Флуоренон (3,5%)                    | 1:1                                | 5                   | 18                          |



Сначала DES1, полученный смешиванием хлорида аммония и глицерина в объемном соотношении 1:6, был проверен на извлечение бензола, этилбензола, *п*-, *м*-, *о*-крезола, флуоренона и нефтяных кислот из их индивидуальных образцов модельного топлива. Как видно из табл. 2, бензол, этилбензол и флуоренон показали оптимальную эффективность (32, 51 и 32%) за 3 ч перемешивания при комнатной температуре (потом происходит обратный процесс). Вместе с тем *п*-, *м*-, *о*-крезолы очень эффективно (98, 97 и 98%) извлекались за 1 ч.

Как видно из табл. 3, время смешения для экстракции бензола, этилбензола и флуоренона при температуре 60 °С было таким же, как и при комнатной температуре. По результатам анализа <sup>1</sup>H ЯМР можно сказать, что повышение температуры негативно влияет на процесс экстракции.

Применение DES2 на основе глицерина и ацетат триэтиламмония показало лучшие результаты, чем использование DES1.

Максимальная экстракция для бензола, этилбензола и флуоренона при комнатной температуре достигается за 3 ч перемешивания (75, 25 и 53% соответственно). *м*- и *о*-крезолы полностью извлекались за 1 ч в одну стадию. Значительное количество *п*-крезола (91%) также было селективно экстрагировано с помощью DES2 за 3 ч перемешивания (см. табл. 4).

Как видно из табл. 5, более высокое извлечение (72%) для бензола было достигнуто за 1 ч при температуре 60 °С. В то же время повышение температуры до 60 °С отрицательно сказывалось на извлечении этилбензола и флуоренона. Полученные с применением DES2 результаты показали лучшую эффективность разделения экстракции при комнатной температуре, чем при 60 °С.

Как известно, бензол вместе с толуолом, этилбензолом и изомерами ксилола был обнаружен в сырой нефти и бензине. Из-за канцерогенных и токсических свойств данных веществ в последние годы количество бензола в бензине снизилось до 1% объема в Европе и Северной Америке. Несмотря на это, установлено, что в некоторых странах бензин содержит до 30% бензола. В некоторых источниках сообщается, что бензол может являться причиной острого миелоидного лейкоза, множественной миеломы и хронического лимфолейкоза в организме человека [21–23].

В ходе проведенного исследования мы получили некоторые результаты, свидетельствующие о снижении процентного содержания бензола и этилбензола в образцах модельного топлива. Более высокий результат для бензола был получен через 3 ч при комнатной температуре с использованием DES2.

В то же время мы исследовали извлечение нефтяных кислот (25%) из модельного топлива при комнатной

температуре и при температуре 60 °С с помощью DES1 и DES2 при перемешивании в течение от 1 до 5 ч. Из результатов <sup>1</sup>H ЯМР-анализа видно, что процент экстракции нафтеновых кислот ниже, чем ароматических кислот. В отличие от нафтеновых кислот ароматические кислоты полностью извлекались с DES1 за 1 ч при комнатной температуре в одну стадию.

*Регенерация глубоких эвтектических растворителей.* Восстановление и повторное использование DES важно не только с экономической точки зрения, но и в связи с тем, что их называют важными «зелеными» растворителями. Для очистки DES использовали диэтиловый эфир. DES и диэтиловый эфир брали в объемных соотношениях 1:1. Процесс регенерации проводили в течение 3 ч при перемешивании магнитной мешалкой. Данные <sup>1</sup>H ЯМР-анализа показали, что восстановленные DES могут быть повторно использованы для эффективного извлечения ароматических углеводородов и нефтяных кислот.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенного исследования изучено два новых глубоких эвтектических растворителя (DES1 и DES2) на основе глицерина в качестве донора водородной связи и хлорида аммония (или триэтиламмоний ацетата) в качестве акцептора водородной связи в процессе ЖЖЭ для выделения бензола, этилбензола (5%), *п*-, *м*-, *о*-крезолов и флуоренона (3,5%), нефтяных кислот (25%) из модельного топлива.

Более высокое извлечение (100%) *м*-крезола и *п*-крезола было обнаружено при использовании DES2 в течение 1 ч при комнатной температуре. Также высокое извлечение (75 и 53%) бензола и флуоренона было получено с использованием DES2 за 3 ч при комнатной температуре.

В то же время нам удалось добиться полного извлечения ароматических кислот из смеси нефтяных кислот модельного топлива с помощью DES1 при комнатной температуре.

На основании полученных данных можно отметить, что повышение температуры в основном негативно влияет на процесс извлечения ароматических углеводородов и нефтяных кислот. Возможно, это связано с разрушением водородной связи при разделении. Как известно, принцип ЖЖЭ в присутствии DES связан с образованием водородной связи с разделяемыми соединениями.

Исследованные DES можно назвать экономичными в связи с тем, что глицерин является отходом производства биодизеля, а хлорид аммония и ацетат триэтиламмония – легкодоступные и экологически чистые продукты химической промышленности.

## REFERENCES

1. Stanislaus A., Cooper B.H. Aromatic hydrogenation catalysis: a review. *Catalysis Reviews*. 1994;36(1):75-123. DOI: 10.1080/01614949408013921.
2. Sharma M., Sharma P., Kim J.N. Solvent extraction of aromatic components from petroleum derived fuels: a perspective review. *RSC Advances*. 2013;3(26):10103-10126. DOI: 10.1039/C3RA00145H.
3. Adžamić T., Sertić-Bionda K., Zoretić Z. Desulfurization of FCC gasoline by extraction with sulfolane and furfural. *Nafta*. 2009;60(9):485-490.
4. Shen H., Shen B., Ling H. Desulfurization of fluid catalytic cracking gasoline by extractive distillation coupled with hydrodesulfurization of heavy fraction. *Energy & Fuels*. 2013;27(9):5153-5160. DOI: 10.1021/ef401075x.
5. Kianpour E., Azizian S. Polyethylene glycol as a green solvent for effective extractive desulfurization of

liquid fuel at ambient conditions. *Fuel*. 2014;137:36-40. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.07.096.

6. Hadj-Kali M.K., Salleh Z., Ali E., Khan R., Hashim M.A. Separation of aromatic and aliphatic hydrocarbons using deep eutectic solvents: a critical review. *Fluid Phase Equilibria*. 2017;448:152-167. DOI: 10.1016/j.fluid.2017.05.011.

7. Meindersma G.W., Hansmeier A.R., de Haan A.B. Ionic liquids for aromatics extraction. Present status and future outlook. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010;49(16):7530-7540. DOI: 10.1021/ie100703p.

8. Navarro P., de Dios-García I., Larriba M., Delgado-Mellado N., Ayuso M., Moreno D., et al. Dearomatization of pyrolysis gasoline by extractive distillation with 1-ethyl-3-methylimidazolium tricyanomethanide. *Fuel Processing Technology*. 2019;195:106156. DOI: 10.1016/j.fuproc.2019.106156.

9. Fang W., Shao D., Lu X., Guo Y., Xu L. Extraction of aromatics from hydrocarbon fuels using *N*-alkyl piperazinium-based ionic liquids. *Energy & Fuels*. 2012;26(4):2154-2160. DOI: 10.1021/ef201955n.

10. Romero A., Santos A., Tojo J., Rodríguez A.J. Toxicity and biodegradability of imidazolium ionic liquids. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;151(1):268-273. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.079.

11. Pham T.P.T., Cho C.-W., Yun Y.-S. Environmental fate and toxicity of ionic liquids: a review. *Water Research*. 2010;44(2):352-372. DOI: 10.1016/j.watres.2009.09.030.

12. Smith E.L., Abbott A.P., Ryder K.S. Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chemical Reviews*. 2014;114(21):11060-11082. DOI: 10.1021/cr300162p.

13. Tang B., Zhang H., Row K.H. Application of deep eutectic solvents in the extraction and separation of target compounds from various samples. *Journal of Separation Science*. 2015;38(6):1053-1064. DOI: 10.1002/jssc.201401347.

14. Kudlak B., Owczarek K., Namieśnik J. Selected issues related to the toxicity of ionic liquids and deep eutectic solvents – a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22:11975-11992. DOI: 10.1007/s11356-015-4794-y.

15. Larriba M., Ayuso M., Navarro P., Delgado-Mellado N., Gonzalez-Miquel M., Garcia J., et al. Choline chloride-based deep eutectic solvents in the dearomatization of gasolines. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2018;6(1):1039-1047. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b03362.

16. Warrag S.E.E., Darwish A.S., Abuhatab F.O.S., Adeyemi I.A., Kroon M.C., AlNashef I.M. Combined extractive dearomatization, desulfurization, and denitrogenation of oil fuels using deep eutectic solvents: a parametric study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2020;59(25):11723-11733. DOI: 10.1021/acs.iecr.0c01360.

17. Lemaoui T., Benguerba Y., Darwish A.S., Hatab F.A., Warrag S.E.E., Kroon M.C., et al. Simultaneous dearomatization, desulfurization, and denitrogenation of diesel fuels using acidic deep eutectic solvents as extractive agents: a parametric study. *Separation and Purification Technology*. 2021;256:117861. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117861.

18. Naik P.K., Dehury P., Paul S., Banerjee T. Evaluation of deep eutectic solvent for the selective extraction of toluene and quinoline at  $T = 308.15$  K and  $p = 1$  bar. *Fluid Phase Equilibria*. 2016;423:146-155. DOI: 10.1016/j.fluid.2016.04.018.

19. Kareem M.A., Mjalli F.S., Hashim M.A., Hadj-Kali M.K.O., Bagh F.S.G., AlNashef I.M. Phase equilibria of toluene/heptane with tetrabutylphosphonium bromide based deep eutectic solvents for the potential use in the separation of aromatics from naphtha. *Fluid Phase Equilibria*. 2012;333:47-54. DOI: 10.1016/j.fluid.2012.07.020.

20. El Achkar T., Greige-Gerges H., Fourmentin S. Basics and properties of deep eutectic solvents: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021;19:3397-3408. DOI: 10.1007/s10311-021-01225-8.

21. Stenehjem J.S., Kjærheim K., Bråtveit M., Samuelsen S.O., Barone-Adesi F., Rothman N., et al. Benzene exposure and risk of lymphohaematopoietic cancers in 25000 offshore oil industry workers. *British Journal of Cancer*. 2015;112(9):1603-1612. DOI: 10.1038/bjc.2015.108.

22. Verma D.K., des Tombe K. Benzene in gasoline and crude oil: occupational and environmental implications. *AIHA Journal*. 2002;63(2):225-230. DOI: 10.1080/15428110208984708.

23. Rada E.C., Raboni M., Torretta V., Copelli S., Ragazzi M., Caruson P., Istrate I.A. Removal of benzene from oil refinery wastewater treatment plant exhausted gases with a multi-stage biofiltration pilot plant. *Revista de Chimie*. 2014;65(1):68-70.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Нифтуллаева Саяд Аловсат кызы,**

докторант PhD,  
Бакинский государственный университет,  
Az-1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,  
Республика Азербайджан,  
niftullayevasayad@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0002-6420-7361>

**Мамедова Егана Вагиф кызы,**

PhD преподаватель,  
Бакинский государственный университет,  
Az-1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,  
Республика Азербайджан,  
mamedova\_yegane75@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-9612-7670>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sayad A. Niftullayeva,**

PhD, Doctoral Student,  
Baku State University,  
23, Khalilov St., Baku, Az1148,  
Republic of Azerbaijan,  
niftullayevasayad@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0002-6420-7361>

**Yegana V. Mamedova,**

PhD, Lecturer,  
Baku State University,  
23, Khalilov St., Baku, Az1148,  
Republic of Azerbaijan,  
mamedova\_yegane75@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-9612-7670>

**Мамедов Ибрагим Гариб оглы,**  
д.х.н., профессор,  
Бакинский государственный университет,  
Az-1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,  
Республика Азербайджан,  
✉ bsu.nmrlab@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-5757-9899>

**Ibrahim G. Mamedov,**  
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,  
Baku State University,  
23, Khalilov St., Baku, Az1148,  
Republic of Azerbaijan,  
✉ bsu.nmrlab@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-5757-9899>

#### **Вклад авторов**

С.А. Нифтуллаева – проведение экспериментов, обработка полученных данных, подготовка материалов для статьи.  
Е.В. Мамедова – разработка концепции исследования, развитие методологии.  
И.Г. Мамедов – предложение идеи, обсуждение результатов, написание текста статьи.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

#### **Информация о статье**

Поступила в редакцию 03.04.2023.  
Одобрена после рецензирования 25.09.2023.  
Принята к публикации 29.02.2024.

#### **Contribution of the authors**

Sayad A. Niftullayeva – conducting experiments, data obtained processing, materials preparing for the manuscript.  
Yegana V. Mamedova – research concept and methodology development.  
Ibrahim G. Mamedov – author of the idea, results discussion, writing the text of the manuscript.

#### **Conflict interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

#### **Information about the article**

The article was submitted 03.04.2023.  
Approved after reviewing 25.09.2023.  
Accepted for publication 29.02.2024.