

Научная статья

УДК 66.061

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-4-673-680>



Использование метода ИК-спектроскопии при анализе эффективности селективной очистки масляных экстрактов

Вероника Игоревна Жолнеркевич, Евгения Ивановна Грушова

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

Автор, ответственный за переписку: Жолнеркевич Вероника Игоревна, zholnerkevichv@mail.ru

Аннотация. Одним из способов очистки от канцерогенных углеводородов масляных экстрактов, применяемых в качестве масел-пластификаторов для резинотехнических изделий, является жидкостная экстракция. Эффективность этого метода во многом определяется селективными и растворяющими свойствами разделяющего агента. Однако при осуществлении сравнительного анализа перспективных методов экстрагирования важно также использовать оперативные методы исследования состава получаемых продуктов. Рассмотрено влияние природы селективных растворителей на эффективность очистки масляных экстрактов от полициклических ароматических компонентов, включающих канцерогенные углеводороды (бенз(а)пирен, бенз(е)пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен и т.д.). Используя метод ИК-Фурье спектроскопии, исследован структурно-групповой состав образцов очищенного масляного экстракта и экстрактов второй ступени очистки. Установлено, что по эффективности экстрагирования полициклических ароматических углеводородов из масляных экстрактов исследуемые растворители можно расположить в следующий возрастающий ряд: диметилсульфоксид < N-метилпирролидон + 10% масс. этиленгликоля < N-метилпирролидон + 50% масс. триэтиленгликоля. При использовании растворителя N-метилпирролидон + 50% масс. триэтиленгликоля снижается доля полиалкилзамещенных и конденсированных ароматических структур в очищенном масляном экстракте на 16,8%, выход масляного экстракта возрастает более чем на 25% масс. в сравнении с экстракционной очисткой растворителем N-метилпирролидон + этиленгликоль, который обеспечивает очистку масляных экстрактов согласно требованиям Евросоюза (Директива № 2005/69/ЕС). Следовательно, растворитель N-метилпирролидон + 50% масс. триэтиленгликоля целесообразно использовать для очистки масляных экстрактов от компонентов, оказывающих техногенное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, а метод ИК-спектроскопии – при анализе эффективности селективной очистки масляных экстрактов.

Ключевые слова: масляный экстракт, растворитель, рафинат, структурно-групповой состав, ИК-спектроскопия, селективная очистка

Для цитирования: Жолнеркевич В. И., Грушова Е. И. Использование метода ИК-спектроскопии при анализе эффективности селективной очистки масляных экстрактов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 4. С. 673–680. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-4-673-680>.

CHEMICAL TECHNOLOGY

Original article

IR spectroscopy for analysing solvent extraction efficiency of oil extracts

Veronika I. Zholnerkevich, Evgeniya I. Grushova

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Corresponding author: Veronika I. Zholnerkevich, zholnerkevichv@mail.ru

Abstract. Solvent extraction is a method for purifying oil extracts, which are used as oil-plasticisers for industrial rubber goods, from cancerogenic hydrocarbons. The efficiency of this method is mainly determined by the selectivity and solvent properties of a separating agent. However, when carrying out a comparative analysis of promising extraction methods, it is necessary to use real-time methods for studying the composition of

the resulting products. The purification efficiency of oil extracts from polycyclic aromatic components, including carcinogenic hydrocarbons (benzo[a]pyrene, benzo[e]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, etc.), was evaluated depending upon the nature of selective solvents. The structure-group composition of the purified oil extracts and those at the second-stage of purification was determined by FTIR spectroscopy. It was found that the extraction efficiency of the studied solvents towards polycyclic aromatic hydrocarbons from oil extracts increases in the following order: dimethyl sulfoxide < N-methylpyrrolidone + 10 wt% ethylene glycol < N-methylpyrrolidone + 50 wt% triethylene glycol. When using a solvent comprising N-methylpyrrolidone + 50 wt% triethylene glycol, the proportion of polyalkyl-substituted and condensed aromatic structures in the purified oil extract decreases by 16.8%; the oil extract yield increases by over 25 wt% in contrast to extraction with N-methylpyrrolidone + ethylene glycol mixture, which meets the requirements of the European Union for oil extract purification (Directive No. 2005/69/EC). Therefore, we recommend the solvent comprising N-methylpyrrolidone + 50 wt% triethylene glycol for purifying oil extracts from components having a technogenic impact on the environment and human health and IR spectroscopy for efficiency assessment of solvent extraction of oil extracts.

Keywords: oil extract, solvent, refined oil, structure-group composition, IR spectroscopy, solvent extraction

For citation: Zholnerkevich V. I., Grushova E. I. IR spectroscopy for analysing solvent extraction efficiency of oil extracts. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(4):673-680. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-4-673-680>.

ВВЕДЕНИЕ

Производство смазочных материалов из нефтяного сырья – это сложный многостадийный процесс, включающий ряд этапов экстракционной очистки дистилятных и остаточных нефтепродуктов от различных нежелательных компонентов. При этом получаемый на каждой стадии экстракционного разделения побочный продукт (экстракт, получаемый в процессе селективной очистки масляного сырья, концентрат парафиновых углеводородов – в процессе депарафинизации рафинатов селективной очистки, асфальт – в процессе деасфальтизации остатка вакуумной перегонки мазута) также находит свое применение в различных областях народного хозяйства. Однако постоянное повышение экологических требований при использовании опасных веществ и препаратов обуславливает необходимость разработки мероприятий, обеспечивающих снижение техногенных воздействий продуктов нефтепереработки на окружающую среду и здоровье человека. Особое место по объемам производства и использования в шинной промышленности занимают масляные экстракты [1–7], представляющие собой концентрат полициклических ароматических углеводородов, в том числе и канцерогенных ароматических углеводородов (например, бенз(а)-пирен, бенз(е)пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен и т.д.), от которых необходимо очищать масляные фракции нефти.

На сегодняшний день предложены разные подходы для решения данной проблемы: компаундирование очищенных от канцерогенных компонентов ароматических и парафиновых углеводородов [1]; методы алкилирования опасных конденсированных ароматических углеводородов, ответственных за мутацию ДНК в альфа-положение с целью снижения вероятности уча-

стия «вау»-протона в реакциях электрофильного замещения [2]; очистка экстрактов селективной очистки масел сжиженным пропаном с последующим разделением являющегося нефтяным пластификатором деасфальтизата, освобожденного от асфальтенов и смол при нагреве до 80–90 °С, на две фракции: с повышенным содержанием парафино-нафтеновых углеводородов (верхний слой) и повышенным содержанием ароматических углеводородов (нижний слой), [3], и др. При этом наибольшее внимание уделяется экстракционным процессам очистки масел-пластификаторов от нежелательных компонентов [1–5]. В то же время актуальной задачей является разработка не только способов получения канцерогенно-безопасных масел-пластификаторов для шин, каучуков, но и методов оперативного контроля над их эффективностью, в том числе и при применении процессов экстракции с использованием различных разделяющих агентов на основе тщательного анализа получаемых продуктов.

Целью настоящей работы являлась оценка эффективности очистки полученного в процессе экстракции нефтяного масляного дистилята экстракта селективным растворителем на основе анализа результатов ИК-спектрометрии структурно-группового состава полученных экстрактов и рафинатов. В качестве селективных растворителей для экстракционной очистки использовали известные разделяющие агенты: диметилсульфоксид (ДМСО) [4]; N-метилпирролидон (N-МП) + 10% масс. этиленгликоля (ЭГ) [6] и новый растворитель состава 50% масс. N-метилпирролидона и 50% масс. триэтиленгликоля (ТЭГ).

Как известно [6], в процессе экстракционной очистки растворитель N-МП + 10% масс. ЭГ позволяет получить масло, удовлетворяющее экологическим требованиям Евросоюза (Директива № 2005/69/ЕЕС) по содержанию бензо(а)пирена

(<1 мг/кг), восьми канцерогенных полициклоаренов (<10 мг/кг). ДМСО, используемый для селективной очистки масла, не позволяет выполнить эти требования. Однако анализ содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) методом, изложенным в стандарте DIN EN 16143-2013 (Нефтепродукты. Определение содержания бензо(а)пирена и выбранных полициклических ароматических углеводородов в наполнительных маслах), включающим жидкостную хроматографию для двойной предварительной очистки и хромато-масс-спектрометрию (ГХ/МС), достаточно сложен и требует применения весьма дорогостоящей аппаратуры, что вносит определенные сложности в разработку новых экстракционных растворителей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы очищенного ароматического масла получали в результате реализации жидкостной экстракции в две стадии, схема которой представлена на рис. 1.

Жидкостную экстракцию осуществляли в термостатированной делительной воронке, обогреваемой водой из термостата. Рафинатный раствор промывали дистиллированной водой для удаления растворителя. Полученный рафинат осушали цеолитом NaA. Для выделения масляного экстракта из экстрактного раствора использовали вакуумную перегонку.

На первой стадии масляный экстракт (МЭ1) выделяли по промышленной технологии [8] путем селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-3, полученного в процессе вакуумной пере-

гонки мазута в ОАО «Нафтан», промышленным экстрагентом N-метилпирролидон при 50 °С и кратности растворитель : сырье, 2:1 мас. ч. Далее масляный экстракт (МЭ1) первой ступени подвергали очистке от ПАУ методом экстракции диметилсульфоксидом или N-МП, содержащим 10% масс. ЭГ, или растворителем состава 50% масс. N-МП + 50% масс. триэтиленгликоля при 50 °С и кратности растворитель : сырье, равной 2:1 мас. ч. Получали рафинат, то есть очищенный масляный экстракт (ОМЭ), и масляный экстракт второй ступени очистки (МЭ2).

Определение спектральных характеристик, структурно-группового и группового химического составов ароматических масел до и после экстракционной очистки осуществляли методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры анализируемых образцов масляных экстрактов регистрировали с помощью ИК-Фурье спектрометра ФСМ 1202 (ООО «Инфраспек», Россия) в интервале волновых чисел 1800–400 см⁻¹. Испытуемый образец наносили в виде тонкого слоя на кристалл KBr. Отнесение полос поглощения в ИК-спектрах проводилось в соответствии с литературными данными¹ [9–13]. На ИК-спектрах рафинатов (очищенные масляные экстракты) и экстрактов второй ступени очистки фиксировали широкий набор полос поглощения, соответствующих: ароматическим структурам разного строения – 1600–1603, 865–867, 811–812, 746–747 см⁻¹; нафтоновым структурам – 940–953 и 1027–1033 см⁻¹, алкановым структурам – 720–726, 1376–1378 и 1458–1463 см⁻¹.

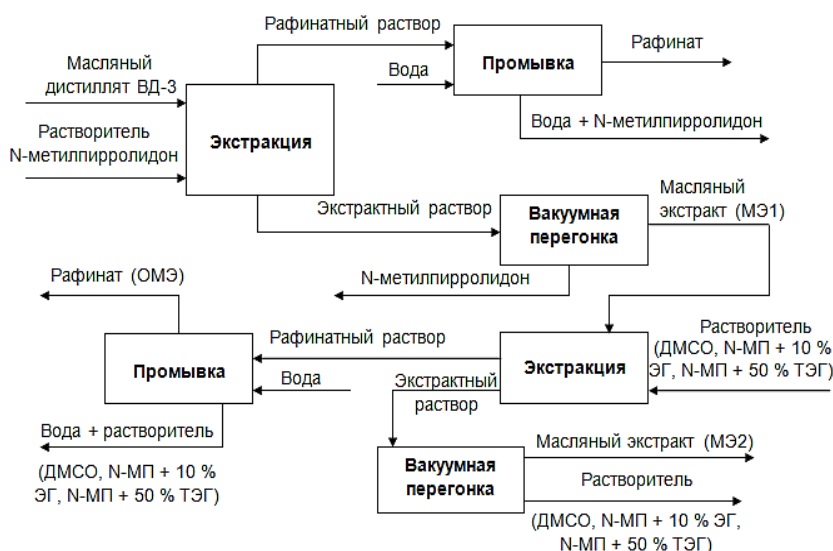


Рис. 1. Блок-схема получения и очистки масляного экстракта

Fig. 1. Block diagram of obtaining and purifying oil extract

¹Тарасевич Б. Н. Основы ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК-спектроскопии: пособие к спецпрактикуму по физико-химическим методам для студентов-дипломников кафедры органической химии. М.: Изд-во МГУ, 2012. 22 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты очистки указанными растворителями масляного экстракта (МЭ1), выделенного в процессе селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-3 с помощью N-метилпирролидона, представлены в табл. 1.

При анализе эффективности выбранного способа «облагораживания» масляного экстракта необходимо исследовать его структурно-групповой состав.

Охарактеризовать усредненную структуру молекулы нефтяного масла можно с помощью отношения интенсивностей полос поглощения, а также отношения оптических плотностей полос поглощения на соответствующих частотах [12–16].

На основании ИК-спектров (рис. 2) оценивали условное содержание и соотношение ароматических и парафиновых структур в очищенном масляном экстракте (D – оптическая плотность):

$C_1 = D_{1600} / (D_{720} + D_{1380})$ – условное отношение общего содержания ароматических структур к содержанию парафиновых структур;

$C_2 = (D_{780} + D_{810} + D_{860}) / D_{1600}$ – условное отношение содержания полиалкилзамещенных моно-, би- и трициклических ароматических структур к общему содержанию ароматических структур;

$C_3 = (D_{810} + D_{860}) / D_{1600}$ – условное отношение полиалкилзамещенных би- и трициклических структур к общему содержанию ароматических структур;

$C_4 = (D_{780} + D_{810} + D_{860}) / (D_{720} + D_{1380})$ – условное отношение содержания полиалкилзамещенных моно-, би- и трициклических ароматических структур к содержанию парафиновых структур;

$C_5 = D_{1600} / D_{1460}$ – условное содержание ароматических структур;

$C_6 = (D_{810} + D_{860}) / D_{1460}$ – условное содержание полиалкилзамещенных моно- и конденсированных ароматических структур;

$C_7 = D_{780} / D_{1460}$ – условное содержание бизамещенных структур бензола;

$C_8 = (D_{720} + D_{1380}) / D_{1460}$ – условное содержание парафиновых структур нормального и изостроения.

Результаты анализа данных ИК-спектров представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Анализ группового состава масляных продуктов осуществляли на основе следующих показателей [12]:

$$\% \text{Ал} = (D_{720} + D_{1450} + D_{1380}) \cdot 100 / (D_{720} + D_{1450} + D_{1380} + D_{1030} + D_{970} + D_{1600} + D_{870} + D_{810} + D_{750});$$

$$\% \text{Н} = (D_{970} + D_{1030}) \cdot 100 / (D_{720} + D_{1450} + D_{1380} + D_{1030} + D_{970} + D_{1600} + D_{870} + D_{810} + D_{750});$$

$$\% \text{Ар} = (D_{1600} + D_{870} + D_{810} + D_{750}) \cdot 100 / (D_{720} + D_{1450} + D_{1380} + D_{1030} + D_{970} + D_{1600} + D_{870} + D_{810} + D_{750}),$$

где, %Ал – содержание алифатических структур; %Н – содержание нафтеновых структур; %Ар – содержание ароматических структур.

Таблица 1. Показатели экстракции очищенного масляного экстракта ($n_D^{50} = 1,5470$)

Table 1. Indicators of extraction purification of oil extract ($n_D^{50} = 1.5470$)

Показатель	Растворитель		
	ДМСО	Н-МП + 10% ЭГ	Н-МП + 50% ТЭГ
Выход ОМЭ, % масс.	91,4	60,3	87,1
Показатель преломления ОМЭ, n_D^{50}	1,5445	1,5170	1,5390
Анилиновая точка для ОМЭ, °С	75,0	78,0	76,7
Показатель преломления МЭ2, n_D^{50}	1,5938	1,5550	1,5867

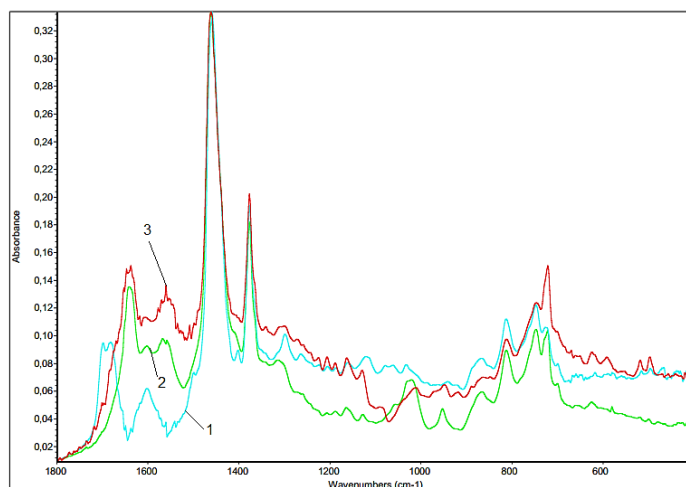


Рис. 2. ИК-спектры масляных экстрактов, очищенных растворителями: N-метилпирролидон + 50% масс. триэтиленгликоля (1); диметилсульфоксид (2); N-метилпирролидон + 10% масс. этиленгликоль (3)

Fig. 2. IR spectra of solvent purified aromatic oil: N-MP + 50 wt% TEG (1); DMSO (2); N-MP + 10 wt% EG (3)

Таблица 2. Структурно-групповой состав очищенных масляных экстрактов по данным ИК-спектроскопии

Table 2. Structural and group composition of purified oil extracts according to IR spectrometry data

Показатель	Экстракт первой ступени (сырье)	Растворитель		
		ДМСО	N-МП +10%ЭГ	N-МП+50%ТЭГ
C ₁	0,66	0,65	0,62	0,63
C ₂	2,74	3,87	3,66	3,04
C ₃	1,93	2,37	2,61	2,17
C ₄	1,77	2,31	2,26	1,90

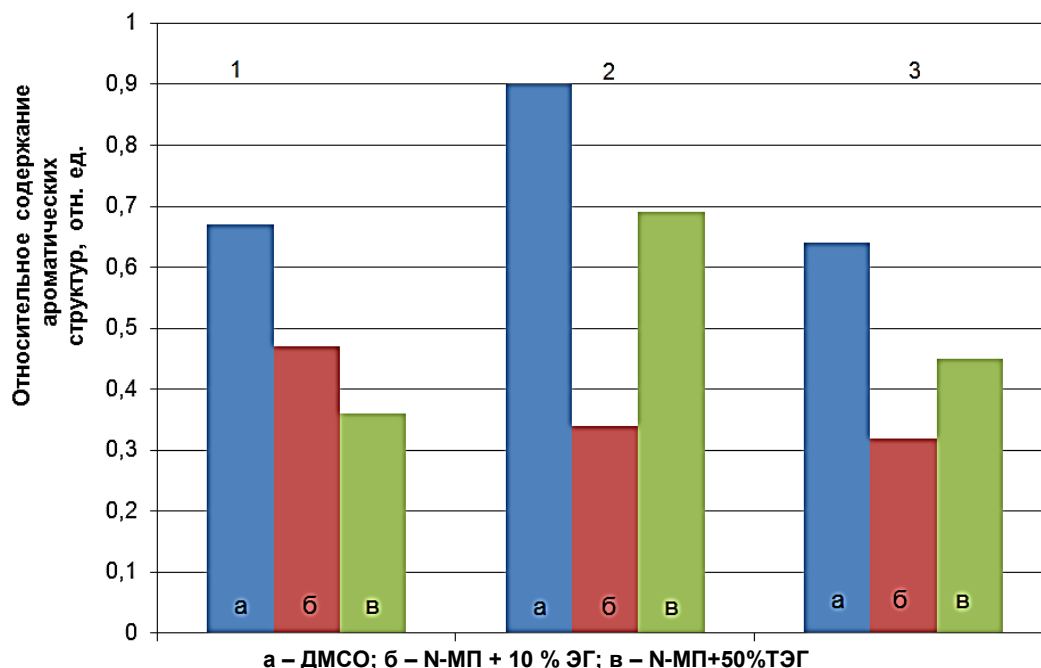


Рис. 3. Влияние природы экстрагента на относительное содержание ароматических структур в очищенном масляном экстракте;

1, 2, 3 – относительное содержание ароматических структур ($C_5^{OMЭ} / C_5^{MЭ1}$);
биалкилзамещенных структур бензола ($C_7^{OMЭ} / C_7^{MЭ1}$);
полиалкилзамещенных би- и трициклических ароматических структур ($C_6^{OMЭ} / C_6^{MЭ1}$) соответственно

Fig. 3. Influence of the extractant nature on the conditional relative content of aromatic structures in the purified oil extract;

1, 2, 3 – relative content of aromatic structures ($C_5^{OMЭ} / C_5^{MЭ1}$) bialkyl substituted benzene ($C_7^{OMЭ} / C_7^{MЭ1}$);
polyalkyl substituted bi- and tricyclic structures ($C_6^{OMЭ} / C_6^{MЭ1}$) respectively

Сопоставительный анализ результатов ИК-спектроскопии позволил установить следующее. Очистка масляного экстракта растворителем N-МП + 50% масс. ТЭГ обеспечивает наименьший переход ароматических структур в целевой продукт – ОМЭ. Наибольшее содержание ароматических структур в ОМЭ наблюдается при селективной очистке масляного экстракта ДМСО. Однако ДМСО и растворитель N-МП + 50% масс. ТЭГ позволяют лучше сохранить в составе ОМЭ замещенные ароматические структуры, которые не относятся к группе канцерогенных соединений.

Согласно данным, представленным в табл. 2, обработка экстракта селективной очистки масляных дистиллятов растворителями мало влияет на величину C_1 . Однако (ОМЭ) увеличение показателей C_2 и C_3 свидетельствуют о том, что в целевом продукте увеличивается содержание замещенных ароматических структур по отношению к ароматическим структурам. При этом в наибольшей степени этот процесс наблюдается при очистке сырья

ДМСО и смесью N-МП + 10% масс. ЭГ. В результате наименьшее значение отношения замещенных ароматических структур к парафиновым структурам наблюдается для масла, полученного при очистке сырья смесью N-МП + 50% масс. ТЭГ.

Анализ экстрактов второй ступени селективной очистки (табл. 3), показывает, что наибольшее содержание ароматических структур (C_5) наблюдается в МЭ2 при очистке сырья смесью N-МП + 50% масс. ТЭГ и, соответственно, в МЭ2 переходит меньше парафиновых структур нормального и изостроения: C_8 для системы растворителей N-МП + 10% масс. ЭГ равно 5,23, а для системы растворителей N-МП + 50% масс. ТЭГ – 4,85.

Очистка экстрактов селективными растворителями ДМСО, N-МП + 10% масс. ЭГ, N-МП + 50% масс. ТЭГ (табл. 4) позволяет практически в 2 раза снизить содержание ароматических углеводородов в очищенном масляном экстракте и повысить содержание парафино-нафтеновых углеводородов.

Поскольку основу масляных фракций нефти

составляют гибридные молекулы углеводов и гетероорганических соединений [19, 20], то есть они содержат парафиновые, нафтеновые и ароматические структуры, то, согласно данным ИК-спектроскопии, голаядерные полициклические ароматические структуры при селективной очистке масляного экстракта (МЭ1) концентрируются в масляном экстракте второй ступени очистки (МЭ2).

ские ароматические структуры при селективной очистке масляного экстракта (МЭ1) концентрируются в масляном экстракте второй ступени очистки (МЭ2).

Таблица 3. Структурно-групповой состав экстрактов второй ступени (МЭ2)

Table 3. Structural and group composition of extracts of the second stage

Растворитель	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
N-МП + 10% масс. ЭГ	2,73	6,18	2,52	5,23
N-МП + 50% масс. ТЭГ	3,70	6,18	2,24	4,85
Исходное сырье (МЭ1)	4,01	7,73	3,15	6,21

Таблица 4. Групповой состав очищенных масляных экстрактов

Table 4. Group composition of purified oil extract

Показатель	Сырье (МЭ1)	ОМЭ		
		ДМСО	N-МП + 10% ЭГ	N-МП + 50% ТЭГ
%Ал	31,83	18,77	29,85	29,71
%Н	36,31	62,45	51,73	51,76
%Ар	31,86	18,78	18,42	18,53

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сопоставительный анализ структурно-группового и группового химического составов исходных масляных экстрактов, очищенных масляных экстрактов и экстрактов второй ступени селективной очистки методом ИК-спектроскопии позволил установить, что селективная очистка масляного экстракта первой ступени селективными растворителями позволяет снизить содержание ароматических структур в ОМЭ. Эффективность очистки с целью «облагораживания» масляного экстракта зависит от при-

роды используемого экстрагента. Растворитель N-метилпирролидон + 50% масс. триэтиленгликоля обеспечивает более высокий выход рафината за счет его более высокой избирательной способности при отделении ПАУ от замещенных ПАУ в сравнении с растворителями ДМСО и N-МП + ЭГ. При этом необходимо отметить, что метод ИК-спектроскопии при осуществлении сопоставительного анализа даже малых количеств исследуемых веществ позволяет получить их качественную характеристику.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шалашова А. А., Новоселов А. С., Лазарев М. А., Щепалов А. А. Некоторые параметры рафинатов и масел пластификаторов для автомобильных шин после очистки от канцерогенноопасных компонентов путем использования пропиленкарбоната как экстрагента исходных сырьевых смесей // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, N 20. С. 64–66.
2. Шалашова А. А., Семенычева Л. Л., Новоселов А. С., Лазарев М. А., Щепалов А. А. Алкилирование нефтяной экстрагированной тяжелой фракции некоторыми субстратами с целью снижения содержания опасны ПАУ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. 2019. Т. 11, N 1. С. 42–49. <https://doi.org/10.14529/chem190105>.
3. Antonova S. A., Tonkonogov B. P., Kislyakova A. Yu., Dorogochinskaya V. A. Production technologies of various types of environmentally friendly plasticizer oils // Chemistry and technology of fuels and oils. 2020. Vol. 56, no. 3. P. 373–389. <https://doi.org/10.1007/s10553-020-01148-0>.
4. Заглядова С. В., Антонов С. А., Маслов И. А., Китов М. В., Рудяк К. Б., Лейметер Т. Д. Технология производства экологически безопасных масел-пластификаторов // Нефтехимия. 2017. Т. 57. N 6. С. 726–736. <https://doi.org/10.7868/S0028242117060168>.
5. Tonkonogov B. P., Bagdasarov L. N., Kozhevnikov D. A., Karimova A. F. Separation of solvent extracts using liquid propane to obtain petroleum plasticizers // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2013. Vol. 49, no. 5. P. 369–374. <https://doi.org/10.1007/s10553-013-0456-2>.
6. Флисюк О. М., Константинов В. А., Лихачёв И. Г., Борисова Е. И. Экстракционная очистка масел-пластификаторов // Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 09 октября 2020 г.). СПб.: Изд-во НИЦ «МашиноСтроение», 2020. С. 29–31. <https://doi.org/10.26160/2618-8953-2019-3-29-31>.
7. Гольдберг О. Д. Контроль производства масел и парафинов. Л.-М.: Химия, 1964. 248 с.
8. Грушова Е. И., Бондарук О. Н., Талерко Е. С. Исследование влияния активирующих добавок на экстракционные свойства фенола // Труды БГТУ. Серия IV. Химия и технология органических веществ. 2001. Т. 1, N 4. С. 73–76.
9. Глебовская Е. А. Применение инфракрасной спектроскопии в нефтяной геохимии. Л.: Недра, 1971. 140 с.
10. Garmarudi A. B., Khanmohammadi M., Fard H. G., de la Guardia M. Origin based classification of crude oils by infrared spectrometry and chemometrics //

Fuel. 2019. Vol. 236. P. 1093–1099. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.09.013>.

11. Guiliano M., Mille G., Kister J., Muller J. F. Etude des specters IRTF de charbons francais de mineralises et de leurs maceraux // Journal of Chemical Physics. 1988. Vol. 85. P. 963–970. <https://doi.org/10.1051/jcp/1988850963>.

12. Berthold P., Staude B., Bernhard U. IR-spektrometrische strukturgruppe analyse aromaten baltiger mineralölprodukte // Schmierungstechnik. 1976. N. 7. P. 280–283.

13. Сафиева Р. З., Кошелев В. Н., Иванова Л. В. ИК-спектметрия в анализе нефти и нефтепродуктов // Вестник Башкирского государственного университета. 2008. Т. 13, N 4. С. 869–874.

14. Агаев С. Г., Землянский Е. О., Гултыев С. В. Парафиновые отложения Верхнесалатского месторождения нефти Томской области // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. N 3. С. 8–12.

15. Koshelev V. N., Gordadze G. N., Ryabov V. D., Chernova O. B. Transformations of crude oils in in-situ combustion and prolonged contact with the environment // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2005. Vol. 41, no. 2. P. 104–107. <https://doi.org/10.1007/s10553-005-0030-7>.

16. Парфенова П. М., Косякова Л. С., Артемьев В. Ю., Григорьев Е. Б., Шафиев И. М. Физико-химическая характеристика конденсатов Чаяндынского нефтегазоконденсатного месторождения // Вести газовой науки: сб. науч. ст. 2012. N 3 (11). Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. С. 20–35.

17. Савельев В. В., Саидбеков И. Ч., Сурков В. Г., Головкин А. К., Мракин А. Н. Структура смол и асфальтенов жидких продуктов термолитического разложения органического вещества разного типа // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. N 12. С. 1597–1600.

18. Грушова Е. И., Юсевич А. И. Применение добавок химических соединений для интенсификации процессов экстракции, флотации, адсорбции: монография. Минск: Из-во БГТУ, 2006. 172 с.

19. Казакова Л. П., Крейн С. Э. Физико-химические основы производства нефтяных масел. М.: Химия, 1978. 320 с.

20. Проблемы совершенствования технологии производства и улучшения качества нефтяных масел: сб. тр.; под ред. Е. Н. Заяшниковой М.: Нефть и газ, 1996. 198 с.

REFERENCES

1. Shalashova A. A., Novoselov A. S., Lazarev M. A., Shchepalov A. A. Some parameters of refined products and plasticizer oils for automobile tires after purification from carcinogenically dangerous components by using propylene carbonate as an extractant of raw material mixtures. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Herald of technological university*. 2017;20(20):64–66. (In Russian).

2. Shalashova A. A., Semenycheva L. L., Novoselov A. S., Lazarev M. A., Shchepalov A. A. Alkylation of oil extracted heavy fraction by some substrates to decrease the content of dangerous PAH. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya = Bulletin of the South Ural State University. Series Chemistry*. 2019;11(1):42–49 (In Russian).

3. Antonova S. A., Tonkonogov B. P., Kislyakova A. Yu., Dorogochinskaya V. A. Production technologies of various types of environmentally friendly plasticizer oils. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 2020;56(3):373–389. <https://doi.org/10.1007/s10553-020-01148-0>.

4. Zagladova S. V., Antonov S. A., Maslov I. A., Kitov M. V., Rudjak K. B., Lejmeter T. D. Technology of production of environmentally friendly plasticizer oils. *Neftekhimiya = Petroleum Chemistry*. 2017;57(6):726–736. <https://doi.org/10.7868/S0028242117060168>. (In Russian).

5. Tonkonogov B. P., Bagdasarov L. N., Kozhevnikov D. A., Karimova A. F. Separation of solvent extracts using liquid propane to obtain petroleum plasticizers. *Chemistry and Technology of Fuels*

and Oils. 2013;49(5):369–374. <https://doi.org/10.1007/s10553-013-0456-2>.

6. Flisyuk O. M., Konstantinov V. A., Likhachev I. G., Borisova E. I. Purification of plasticizer oils by extraction. In: *Modernizatsiya i innovatsionnoe razvitiye toplivno-energeticheskogo kompleksa: materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Modernization and innovative development of the fuel and energy complex: Proceedings of III International Scientific and Practical Conference*. 09 October 2020, St. Petersburg. SPb.: NITs "MashinoStroenie"; 2020, p. 29–31. (In Russian).

7. Gol'dberg O. D. *Control of the production of oils and paraffins*. Leningrad-Moscow: Khimiya; 1964. 248 p. (In Russian).

8. Grushova E. I., Bondaruk O. N., Talerko E. S. Investigation of the effect of activating additives on the extraction properties of phenol. *Trudy BGTU. Seriya IV. Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv = Proceedings of BSTU. Series IV. Chemistry and Technology of organic substances*. 2001;1(4):73–76. (In Russian).

9. Glebovskaya E. A. *Application of infrared spectroscopy in petroleum geochemistry*. Leningrad: Nedra; 1971. 140 p. (In Russian).

10. Gamarudi A. B., Khanmohammadi M., Fard H. G., de la Guardia M. Origin based classification of crude oils by infrared spectrometry and chemometrics. *Fuel*. 2019;236:1093–1099. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.09.013>.

11. Guiliano M., Mille G., Kister J., Muller J. F. Etude des specters IRTF de charbons francais de-

mineralises et de leurs maceraux. *Journal of Chemical Physics*. 1988;85:963–970. <https://doi.org/10.1051/jcp/1988850963>.

12. Berthold P., Staude B., Bernhard U. IR-spektrometrische strukturgruppe analyse aromaten baltiger mineralölprodukte. *Schmierungstechnik*. 1976;7:280–283. (In Deutsch).

13. Safieva R. Z., Koshelev V. N., Ivanova L. V. IR spectrometry in the analysis of oil and petroleum products. *Vestnik Bashkirskogo universiteta = Bulletin of Bashkir University*. 2008;13(4):869–874. (In Russian).

14. Agayev S. G., Zemlyanskiy Ye. O., Gul'tyayev S. V. Paraffin layers of the Verkhnesalatskoye oil field of Tomsk area. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoi opyt*. 2006;3:8–12 (In Russian).

15. Koshelev V. N., Gordadze G. N., Ryabov V. D., Chernova O. B. Transformations of crude oils in in-situ combustion and prolonged contact with the environment. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2005;41(2):104–107. <https://doi.org/10.1007/s10553-005-0030-7>.

16. Parfenova P. M., Kosyakova L. S., Artem'ev V. Yu.,

Grigor'ev E. B., Shafiev I. M. Physico-chemical characteristics of condensates of the Chayandinsky oil and gas condensate field. *Vesti gazovoy nauki*. 2012;3:20–35 (In Russian).

17. Savelyev V. V., Saidbekov I. C., Surkov V. G., Golovko A. K., Mrakin A. N. The structure of resins and asphaltenes liquid products thermolysis ozonized organic matter of different type. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015;12:1597–1600. (In Russian).

18. Grushova E. I., Yusevich A. I. *The use of additives of chemical compounds for the intensification of extraction, flotation, and adsorption processes*. Minsk: Izdatel'stvo Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta; 2006. 172 p. (In Russian).

19. Kazakova L. P., Krein S. E. *Physico-chemical fundamentals of petroleum oils production*. Moscow: Khimiya; 1978. 320 p. (In Russian).

20. Zayashnikov E. N. (ed.) *Improving production technology and quality of petroleum oils*. Moscow: Neft' I Gaz; 1996. 198 p. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. И. Жолнеркевич,

магистрант,
Белорусский государственный
технологический университет,
220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а,
Беларусь,
zholnerkevichv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4525-9617>

Е. И. Грушова,

д.т.н., профессор,
Белорусский государственный
технологический университет,
220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а,
Беларусь,
e.grushova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7405-056x>

Вклад авторов

Оба автора сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 29.10.2021.
Одобрена после рецензирования 15.11.2021.
Принята к публикации 30.11.2021.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Veronika I. Zholnerkevich,

Master's student of the
Belarusian State Technological University,
13a, Sverdlov St., Minsk, 220006,
Belarus,
zholnerkevichv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4525-9617>

Evgeniya I. Grushova,

Dr. Sci. (Engineering),
Belarusian State Technological University,
13a, Sverdlov St., Minsk, 220006,
Belarus,
e.grushova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7405-056x>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

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 29.10.2021.
Approved after reviewing 15.11.2021.
Accepted for publication 30.11.2021.