

НАСЫЩЕННЫЕ И АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ВЫСОКОПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ И ОРГАНИЧЕСКОГО ОТЛОЖЕНИЯ

Герасимова Наталья Николаевна,

канд. хим. наук, доцент, ст. науч. сотр. лаборатории гетероорганических соединений нефти Института химии нефти СО РАН, Россия, 634021, г. Томск, пр. Академический, 4. E-mail: dm@ipc.tsc.ru

Коваленко Елена Юрьевна,

канд. хим. наук, науч. сотр. лаборатории гетероорганических соединений нефти Института химии нефти СО РАН, Россия, 634021, г. Томск, пр. Академический, 4. E-mail: azot@ipc.tsc.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью получения детальной информации о содержании и составе углеводородов и гетероатомных компонентов в высокопарафинистых нефтях и образующихся из них асфальтосмолопарафиновых отложениях для решения проблем добычи и транспорта нетрадиционного углеводородного сырья.

Цель работы: выявление особенностей распределения и состава парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов и ароматических серосодержащих соединений в высокопарафинистой нефти и полученном из неё органическом отложении.

Методы исследования: элементный анализ, жидкостно-адсорбционная хроматография, газовая хроматография-масс-спектрометрия.

Результаты: Установлено сходство распределения и состава отдельных типов насыщенных и ароматических соединений в масляных компонентах высокопарафинистой нефти и полученном из неё органическом отложении. Показано, что в обоих образцах присутствуют одинаковые гомологические ряды *n*-алканов ($C_{10}-C_{37}$), алкилциклогексанов ($C_{12}-C_{25}$), алкилбензолов ($C_{15}-C_{29}$), незамещенные нафталин, фенантрен и дибензотиофен и их алкилпроизводные (C_1-C_4). Среди идентифицированных соединений преобладают ($C_{12}-C_{22}$)-алканы, ($C_{12}-C_{17}$)-алкилциклогексаны и ($C_{15}-C_{17}$)-*n*-алкилбензолы, C_1 -алкилнафталины, C_1 -алкилфенантрены и (C_1-C_2)-алкилдибензотиофены. Изомерный состав изученных соединений одинаков.

Ключевые слова:

Нефть, органическое отложение, парафины, алкилциклогексаны, алкилбензолы, нафталины, фенантрены, дибензотиофены, распределение, состав.

Введение

Наблюдаемое в настоящее время увеличение доли высоковязких трудноизвлекаемых нефтей в общем объеме углеводородных запасов ставит перед добывающей и перерабатывающей отраслями промышленности ряд сложных проблем, связанных с выбором технологий рационального использования нетрадиционных источников углеводородного сырья [1]. Значительное место среди них занимают нефти, обогащенные высокомолекулярными парафиновыми углеводородами. Большое содержание твердых парафинов приводит к их выпадению из нефтяного раствора и образованию, совместно с асфальтенами и смолами, органических отложений (АСПО), снижающих эффективность процессов добычи и транспорта нефтей [2–4]. При этом известно, что в смолисто-асфальтеновых веществах (САВ) сосредоточена большая часть нефтяных гетероатомных соединений (ГАС), многие из которых являются природными поверхностно-активными веществами и участвуют в различных взаимодействиях нефтяной системы [5–7]. В связи с этим актуальными становятся сравнительные исследования состава высокопарафинистых нефтей и органических отложений на их основе для выявления участия нефтяных компонентов в образовании АСПО на нефтедобывающем оборудовании и в нефтепроводах.

Целью настоящей работы является выявление особенностей распределения и структурно-группового состава парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов и ароматических серосодержащих соединений (СС) в высокопарафинистой нефти и полученном из неё органическом отложении.

Объекты и методы исследования

Исследовали высокопарафинистую (9,2 мас. % твердых парафинов) нефть Южно-Табаганского месторождения и АСПО, полученное из этой нефти в условиях лабораторного эксперимента.

Количественную оценку процесса образования отложения проводили на установке, разработанной на основе метода холодного стержня [8]. Установка состоит из металлического стержня, охлаждаемого водой (температура 10...12 °С) и хладогентом (температуру этилового спирта в криостате варьировали от 0 до –30 °С). В качестве теплоносителя в термостате использовали дистиллированную воду (температура – 20...50 °С). Время эксперимента – 1 ч, навеска нефти – 40 г. Количество отложения, образовавшегося на стержне, определяли гравиметрически. Результатом опыта является среднее арифметическое двух параллельных опытов.

Экспериментальные данные получены на оборудовании центра коллективного пользования Томского научного центра.

При выполнении эксперимента использовали следующие аналитические методы: общее содержание серы ($S_{\text{общ.}}$) определяли сжиганием по Шеннигеру [9], асфальтеновые вещества выделяли осаждением из образцов, разбавленных 40-кратным количеством петролейного эфира с температурой кипения 70...90 °С, масляные и смолистые вещества – жидкостно-адсорбционной хроматографией на оксиде кремния в соответствии со стандартной методикой [6].

Состав масляных компонентов исследовали методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) на DFS приборе «Thermo Scientific». В газовом хроматографе использовали кварцевую капиллярную колонку TR5MS длиной 30 м и внутренним диаметром 0,25 мм. Хроматографирование проводили в режиме программированного подъема температуры от 80 до 300 °С со скоростью 4 град/мин и затем в течение 30 мин при конечной температуре. Газ-носитель – гелий. Сканирование масс-спектров осуществлялось каждую секунду в диапазоне масс до 500 а.е.м. Обработку полученных результатов проводили с помощью программы Xcalibur. Идентификацию соединений выполняли с использованием литературных данных [10–14] и компьютерной библиотеки масс-спектров NIST 02, насчитывающей более 163 тыс. наименований. Относительную распространенность каждого гомолога внутри определенного класса соединений оценивали как отношение его содержания к суммарному содержанию всех гомологов этого класса.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с общепринятой классификацией [15] исходный нефтяной образец относится к среднеплотным, малосмолистым, сернистым нефтям (табл. 1). Количество АСПО, выделенного из нефти в лабораторном эксперименте, составляет 17,5 мас. % (табл. 1). Плотность полученного продукта повышена по сравнению с нефтью, что может быть связано с содержанием САВ в исследованных образцах [5, 6, 15]. Из данных табл. 1 видно, что полученное АСПО более обогащено САВ (10,8 мас. %), чем исходная нефть (7,7 мас. %). При этом в составе САВ органического отложения практически не наблюдается увеличения содержания асфальтенов, но заметно повышение концентрации смолистых компонентов.

Таблица 1. Характеристика высокопарафинистой нефти и асфальтосмолопарафинового отложения

Показатели	Образцы	
	Нефть	АСПО
Выход, мас. %	100,0	17,5
Плотность, кг/м ³	873	889
Содержание, мас. %:		
$S_{\text{общ.}}$	0,6	0,6
масла	92,3	89,2
асфальтены	1,2	1,3
смолы	6,5	9,5

Сходство содержания общей серы в нефти и в исследуемом отложении (табл. 1) свидетельствует о том, что в процессе образования АСПО на холодном стержне соединения серы проявляют свойства, сходные со свойствами основной части углеводородов данной нефтяной дисперсной системы, и не накапливаются в отложении.

Для получения информации о структурно-групповом составе углеводородов (УВ) и СС нефти и полученного из неё АСПО, методом ХМС анализировали масляные компоненты, составляющие основную часть образцов (табл. 1). В их составе идентифицированы одинаковые типы УВ (парафиновые, нафтеновые, ароматические) и ароматические СС (табл. 2). В обоих образцах доминируют алканы. Наблюдается одинаковое сравнительно высокое содержание ароматических углеводородов (11,6 и 11,2 отн. % в нефти и АСПО, соответственно), представленных моно-, би- и трициклическими структурами. Преобладают бициклические арены, содержание моно- и трициклических ароматических соединений наименьшее. Циклоалканы присутствуют в подчиненных количествах. Отмечены следовые концентрации ароматических СС. Такие структуры заслуживают особого внимания, так как являются термически и химически устойчивыми и оказывают негативное воздействие на каталитические процессы переработки нефтяного сырья, качество товарных нефтепродуктов и окружающую среду [16, 17]. Нами исследованы дибензотиофены (ДБТ), которые доминируют в ряду СС большинства нефтей Западной Сибири [14].

Таблица 2. Распределение парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов и серосодержащих соединений

Соединение	Содержание, % относительно суммы идентифицированных соединений	
	Нефть	АСПО
алканы	84,3	84,9
циклоалканы	3,7	3,5
моноарены	1,2	1,0
биарены	9,8	9,7
триарены	0,6	0,5
дибензотиофены	0,4	0,4

Выявлено сходство молекулярно-массового распределения отдельных одноименных типов соединений для масляных компонентов нефти и АСПО (рис. 1–3).

Парафиновые УВ (m/z 57) представлены гомологическими рядами n -алканов от C_{10} до C_{37} (рис. 1, а) с неярко выраженным бимодальным молекулярно-массовым распределением и максимумами, приходящими на C_{13} и C_{17} в обоих образцах. Основное количество (85,2 и 86,4 отн. %) составляют гомологи C_{12} – C_{22} . По содержанию наиболее высокомолекулярных (твердых) парафинов (C_{23} – C_{37}) образцы нефти и АСПО практически не различаются (10,1 и 10,8 отн. %).

Циклоалканы обоих образцов представлены гомологическими рядами соединений от C_{12} до C_{25} (рис. 1, б). Явное преобладание в их масс-спектрах фрагментного иона с m/z 83 позволяет отнести анализируемые соединения к алкилциклогексанам. Большую часть идентифицированных структур (77,6 и 75,3 отн. %) составляют наиболее низкомолекулярные гомологи C_{12} – C_{17} .

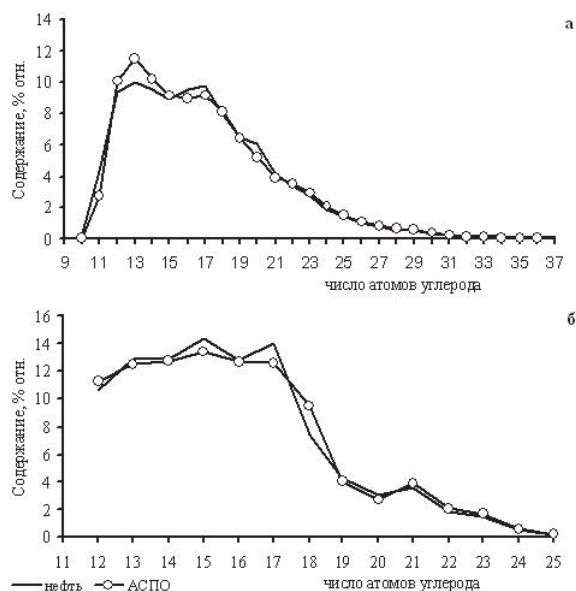


Рис. 1. Молекулярно-массовое распределение: а) *n*-алканов; б) алкилциклогексанов

Для моноаренов нефти и АСПО также наблюдается сходное молекулярно-массовое распределение. Среди моноароматических соединений (m/z 91) идентифицированы одинаковые гомологические ряды *n*-алкилбензолов (C_{15} – C_{29}). Их основную массу (56,6 и 54,4 отн. %) составляют три первых гомолога состава $C_{15}H_{24}$ – $C_{17}H_{28}$ (рис. 2). Следует отметить существенное содержание (10,5 и 12,4 отн. %) *n*-пентадецилбензола ($C_{21}H_{36}$).

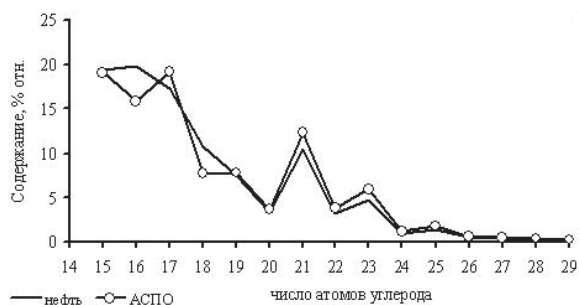


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение *n*-алкилбензолов

Распределения би- и триаренов и дибензотиофенов в образцах нефти и АСПО имеют унимодальный характер (рис. 3).

Бициклические ароматические УВ представлены нафталином (Н) и его C_1 – C_4 гомологами, трициклические – фенантrenom (Ф) и его C_1 – C_3 гомоло-

гами (рис. 3, а, б). Максимумы в распределении нафталинов (38,4 и 40,7 отн. %) и фенантренов (46,2 и 45,8 отн. %) приходятся на C_1 -гомологи.

В составе C_1 -Н установлены 2-метил- и 1-метилнафталины, с преобладанием 2-метилнафталина. Среди C_2 -Н и C_4 -Н присутствуют структуры только с метильными заместителями (рис. 4, а, б). Среди C_3 -Н, помимо триметилнафталинов, установлены небольшие количества этил- и пропилнафталинов.

C_1 -Ф представлены структурами, в которых заместители могут находиться в положениях 1-; 2-; 3- и 9-, присутствующими практически в равных концентрациях. В составе (C_2 – C_3)-Ф идентифицированы соединения как с метильными, так и с этильными заместителями. Большую их часть составляют метилпроизводные.

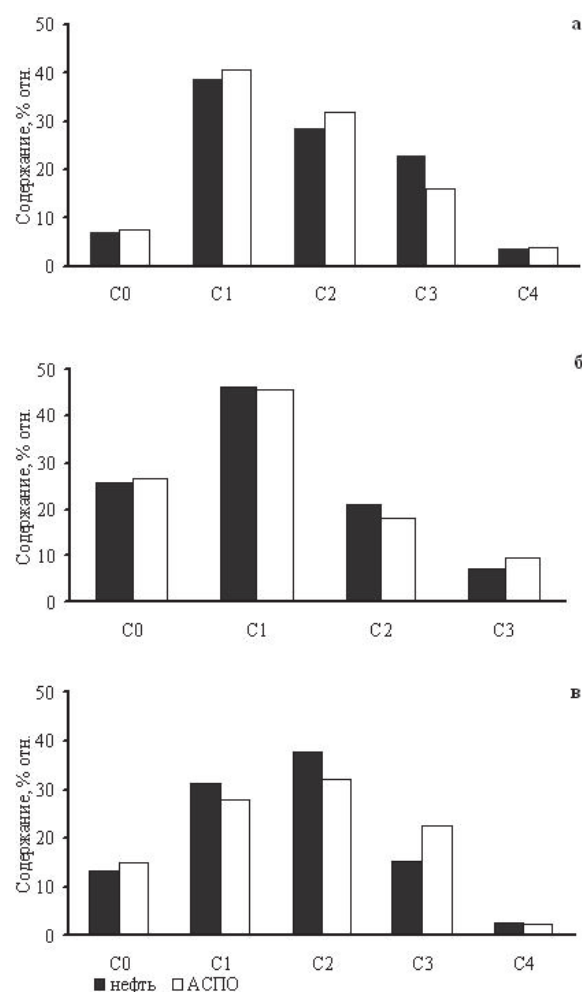


Рис. 3. Молекулярно-массовое распределение: а) нафталинов; б) фенантренов; в) дибензотиофенов

Среди ДБТ нефти и АСПО установлены первый член ряда и его C_1 – C_4 алкилзамещенные структуры (рис. 3, в), с преобладанием (68,8 и 60,1 отн. %) C_1 – C_2 гомологов. В составе (C_1 – C_2)-ДБТ обоих образцов, также как и в случае алкилнафталинов и алкилфенантренов, преобладают структуры с метильными заместителями (рис. 4, в, г). Среди (C_3 – C_4)-ДБТ идентифицированы триметил-, этил-

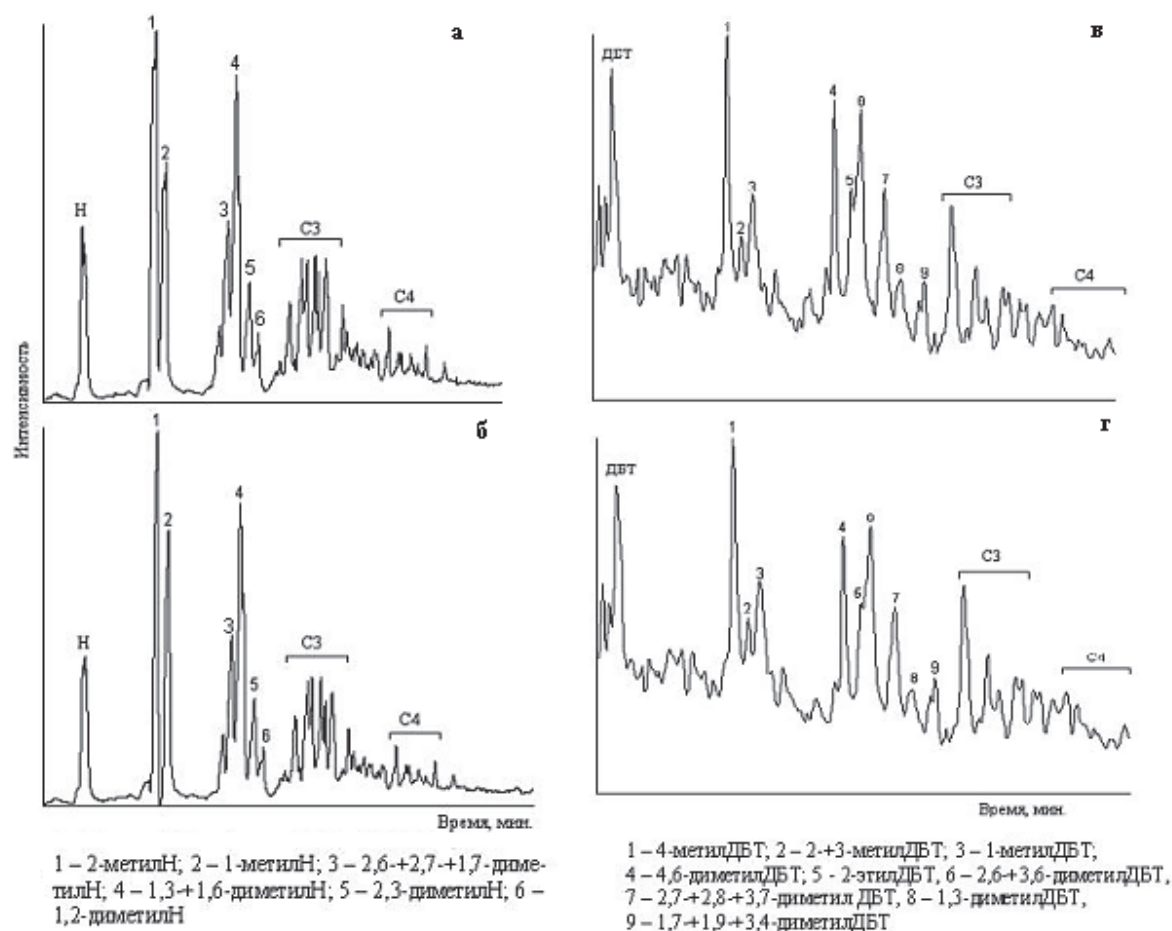


Рис. 4. Масс-хроматограммы нафталинов масел нефти (а) и АСПО (б) и дибензотиофенов масел нефти (в) и АСПО (г)

метил-, пропил-, этил-диметил-, диэтил-, пропил-метил-, бутил-ДБТ. Изомерный состав алкилДБТ нефти и АСПО характеризуется наличием структур с заместителями, расположенными в положениях, ближайших к атому серы (пики 1, 4, 6, 9 на рис. 4, в, г).

Сравнительный анализ полученных результатов и данных, опубликованных в литературе [4, 18], показывает, что исследованный образец АСПО не имеет ожидаемых отличий от нефти в распределении и составе высокомолекулярных соединений. Так, по нашим данным в молекулярно-массовых распределениях *n*-алканов, алкилциклогексанов, алкилбензолов и полициклических ароматических УВ и СС органического отложения не наблюдается увеличения доли наиболее высокомолекулярных гомологов. Это может быть связано как с условиями получения АСПО, так и с особенностями состава нефти [4].

Выводы

На основании изучения состава масляных компонентов высокопарафинистой нефти и АСПО, полученного в условиях эксперимента, установлено сходство распределения и состава отдельных типов насыщенных и ароматических соединений. В обоих образцах установлены одинаковые гомологические ряды *n*-алканов (C_{10} – C_{37}), алкилциклогексанов (C_{12} – C_{25}), алкилбензолов (C_{15} – C_{29}), голаядерные нафталин, фенантрен, дибензотиофен и их алкилпроизводные (C_1 – C_4). Среди идентифицированных соединений преобладают (C_{12} – C_{22})-алканы, (C_{12} – C_{17})-алкилциклогексаны и (C_{15} – C_{17})-*n*-алкилбензолы, C_1 -алкилнафталины, C_1 -алкилфенантрены и (C_1 – C_2)-алкилдибензотиофены. И в нефти, и в АСПО присутствуют одноименные изомеры.

Авторы благодарят старшего научного сотрудника ИХН СО РАН, канд. хим. наук И.В. Прозорову за любезно предоставленный образец АСПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка и промышленное освоение супрамолекулярных энергосберегающих нанотехнологий добычи, подготовки и глубокой переработки тяжелых нефтей и природных битумов / Р.А. Кемалов, А.Ф. Кемалов, Н.Р. Муллахметов, Д.Ф. Фаттахов, А.А. Галлиев, М.Р. Идрисов, Р.Ш. Бадретдинов, А.Т. Файзрахманов // Научно-технологический центр «Природные битумы» Казанского государственного технологического университета г. Казань. Научный электронный архив. URL: <http://econf.rae.ru/article/4549> (дата обращения: 21.05.2013).
2. Яценко И.Г., Полищук Ю.М. Парафинистые нефти: закономерности пространственных и временных изменений физико-химических свойств // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 54–58.
3. Горная энциклопедия / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1984–1991. – Т. 1. – 560 с.
4. Иванова Л. В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 1. – С. 268–284. URL: http://www.ogbus.ru/authors/IvanovaLV/IvanovaLV_1.pdf (дата обращения: 21.05.2013).
5. Камьянов В.Ф., Аксенов В.С., Титов В.И. Гетероатомные компоненты нефтей. – Новосибирск: Наука, 1983. – 238 с.
6. Современные методы исследования нефтей / под ред. А.И. Богомолова, М.Б. Темьянко, Л.И. Хотынцевой. – Л.: Недра, 1984. – 431 с.
7. Сафиева Р.З. Химия нефти и газа. Нефтяные дисперсные системы: состав и свойства Ч. 1. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 112 с.
8. Землянский Е.О., Гребнев А.Н., Гультияев С.В. Моделирование процесса образования парафиновых отложений нефти на холодном металлическом стержне // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Междунар. научно-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. – Т. 1. – С. 202–203.
9. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. – М.: Химия, 1975. – 207 с.
10. Петров Ал.А. Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 264 с.
11. Головкин А.К., Контарович А.Э., Певнева Г.С. Геохимическая характеристика нефтей Западной Сибири по составу алкилбензолов // Геохимия. – 2000. – № 3. – С. 282–293.
12. The effects of thermal maturity on distribution of dimethylnaphthalenes and trimethylnaphthalenes in some Ancient sediments and petroleum / R., Alexander R.I. Kagi, S.J. Rowland, P.N. Sheppard, T.V. Chirila // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1985. – V. 49. – P. 385–395.
13. Thermodynamic calculations on alkylated phenanthrenes: geochemical applications to maturity and origin of hydrocarbons / H. Budzinski, Ph. Garrigues, M. Radke, J. Connan, J. Oudin // Organic Geochemistry. – 1993. – V. 20. – P. 917–926.
14. Сергун В.П., Мин Р.С. Сернистые соединения в нефтях юрско-палеозойского комплекса Западной Сибири // Нефтехимия. – 2012. – Т. 52. – № 2. – С. 86–91.
15. Камьянов В.Ф. Основы химии нефти. Ч. 1. – Томск: Изд-во ТГУ, 1981. – 132 с.
16. Багрий Е.И., Нехаев А.И. Нефтехимия и защита окружающей среды // Нефтехимия. – 1999. – Т. 39. – № 2. – С. 83–97.
17. Исследование состава и реакционной способности сернистых соединений в процессе гидрообессеривания дизельного топлива / Б.Л. Лебедев, С.А. Логинов, Л.О. Коган, Е.В. Лобзин, В.М. Капустин, А.И. Луговойской, К.Б. Рудяк // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2001. – № 11. – С. 62–67.
18. Ганеева Ю.М. Надмолекулярная структура высокомолекулярных компонентов нефти и её влияние на свойства нефтяных систем: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. – Казань, 2013. – 42 с.

Поступила 11.02.2014 г.

UDC 665.61:(547.21+547.53+547.6+547.73)

SATURATED AND AROMATIC COMPOUNDS OF HIGHLY PARAFFINIC OIL AND ORGANIC DEPOSIT

Natalia N. Gerasimova,

Cand. Sc., Institute of Petroleum Chemistry SB RAS,
Russia, 634021, Tomsk, Akademicheskyy avenue, 4. E-mail: dm@ipc.tsc.ru

Elena Yu. Kovalenko,

Cand. Sc., Institute of Petroleum Chemistry SB RAS,
Russia, 634021, Tomsk, Akademicheskyy avenue, 4. E-mail: azot@ipc.tsc.ru

The urgency of the discussed issue is caused by the necessity to obtain the detailed information on the content and composition of hydrocarbons and heteroatomic components in high-paraffinic oils and the asphalt-resin-paraffin deposits formed of the latter to solve the problems of production and transport of nonconventional hydrocarbonic raw materials.

The main aim of the study is to determine the features of distribution and structure of paraffin, naphthenic and aromatic hydrocarbons and aromatic sulfur-containing compounds in high-paraffinic oil and the organic deposit obtained from it.

The methods used in the study: element analysis, liquid and adsorptive chromatography, gas chromatography-mass spectrometry.

The results: The authors have determined the similarity of distribution and structure of certain types of saturated and aromatic compounds in oil components of high-paraffinic oil and organic deposit. It is shown that both samples contain identical homological ranks of *n*-alkanes (C₁₀–C₃₇), alkylcyclohexanes (C₁₂–C₂₅), alkylbenzenes (C₁₅–C₂₉), not replaced naphthalene, phenanthrene and dibenzothiofene, and their alkyl derivative (C₁–C₄). (C₁₂–C₂₂)-alkanes, (C₁₂–C₂₅)-cyclohexanes, (C₁₅–C₁₇)-alkylbenzenes, C₁-alkylnaftalin, C₁-alkylphenanthrene and (C₁–C₂)-alkyldibenzothiophenes prevail among the identified compounds of both samples. Isomeric composition of the studied compounds is identical.

Key words:

Oil, organic deposit, paraffin, alkylcyclohexane, alkylbenzenes, naphthalenes, phenanthrenes, dibenzothiophenes, distribution, structure.

REFERENCES

- Kemalov R.A., Kemalov A.F., Mullakhmetov N.R., Fat-takhov D.F., Galliev A.A., Idrisov M.R., Badretdinov R.Sh., Fa-yzrakhmanov A.T. Razrabotka i promyshlennoye osvoyeniye supramolekulyarnykh energosberegayushchikh nanotekhnology dobychi, podgotovki i glubokoy pererabotki tyazhelykh neftey i prirodnykh bitumov [Development and industrialization of supramolekular energy saving nanotechnologies of production, preparation and deep processing of heavy oils and natural bitumens]. *Nauchno-tehnologicheskyy tsentr «Prirodnye bitумы» Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta g. Kazan. Nauchnyy elektronnyy arkhiv*. Available at: <http://econf.rae.ru/article/4549> (accessed 21 May 2013).
- Yashchenko I.G., Polishchuk Yu.M. Parafinistye nefte: zakonomernosti prostranstvennykh i vremennykh izmeneny fiziko-khimicheskikh svoystv [Paraffinic oils: regularities of spatial and temporary changes of physical and chemical properties]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 313, no. 1, pp. 54–58.
- Gornaya entsiklopediya* [Mountain encyclopedia]. Ed. by E.A. Kozlovskogo. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1984–1991. Vol. 1, 560 p.
- Ivanova L.V., Burov E.A., Koshelev V.N. Asfaltosmoloparafino-vye otlozheniya v protsessakh dobychi, transporta i khraneniya [Asfaltene-rezin-paraffin deposits at oil production, transportation and storage]. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoye delo»*, 2011, no. 1, pp. 268–284. Available at: http://www.ogbus.ru/authors/IvanovaLV/IvanovaLV_1.pdf (accessed 21 May 2013).
- Kamyaynov V.F., Aksenov V.S., Titov V.I. *Geteroatomnye komponenty neftey* [Heteroatomic compounds of the crude oils]. Novosibirsk, Nauka, 1983. 238 p.
- Sovremennyye metody issledovaniya neftey* [Modern Oil Investigation Techniques]. Ed. by A.I. Bogomolov, M.B. Temyanko, L.I. Khotyntseva. Leningrad, Nedra, 1984. 431 p.
- Safieva R.Z. *Khimiya neftey i gaza. Neftyanyye dispersnyye sistemy: sostav i svoystva* [Oil and gas chemistry. Oil disperse systems: structure and properties]. Moscow, RGU neftey i gaza im. I.M. Gubkina, 2004. P. 1, 112 p.
- Zemlyanskiy E.O., Grebnev A.N., Gulyayev C.V. Modelirovaniye protsessa obrazovaniya parafinovykh otlozheny neftey na kholodnom metallicheskom sterzhne [Modeling the processes of formation of oil paraffin deposits on a cold metal core]. *Neft i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proc. International research conference. Oils and gas of Western Siberia]. Tyumen, TyumGNGU, 2005, vol. 1, pp. 202–203.
- Klimova V.A. *Osnovnyye mikrometody analiza organicheskikh soyedineniy* [Main micromethods for analyzing organic compounds]. Moscow, Khimiya, 1975. 207 p.
- Petrov A.I.A. *Uglevodorody neftey* [Oil hydrocarbons]. Moscow, Nauka, 1984. 264 p.
- Golovko A.K., Kontorovich A.E., Pevneva G.S. Geokhimicheskaya kharakteristika neftey Zapadnoy Sibiri po sostavu alkilbenzovol [Geochemical characterization of oils in Western Siberia by composition of alkylbenzenes]. *Geokhimiya*, 2000, no. 3, pp. 282–293.
- Alexander R., Kagi R.I., Rowland S.J., Sheppard P.N., Chirila T.V. The effects of thermal maturity on distribution of dimethylnaphthalenes and trimethylnaphthalenes in some Ancient sediments and petroleum. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985, vol. 49, pp. 385–395.
- Budzinski H., Garrigues Ph., Radke M., Connan J., Oudin J. Thermodynamic calculations on alkylated phenanthrenes: geochemical applications to maturity and origin of hydrocarbons. *Organic Geochemistry*, 1993, vol. 20, pp. 917–926.
- Sergun V.P., Min R.S. Sernistyye soyedineniya v neftyakh yursko-paleozoyskogo kompleksa Zapadnoy Sibiri [Sulfur compounds in crude oils of the Jurassic-Paleozoic Play in Western Siberia]. *Neftekhimiya*, 2012, vol. 52, no. 2, pp. 86–91.
- Kamyaynov V.F. *Osnovy khimii neftey* [Fundamentals of chemistry of oil]. Tomsk, TGU Publ., 1981. P. I, 132 p.
- Bagriy E.I., Nekhaev A.I. Neftekhimiya i zashchita okruzhayushchey sredy [Petrochemistry and environment protection]. *Neftekhimiya*, 1999, vol. 39, no. 2, pp. 83–97.
- Lebedev B.L., Loginov S.A., Kogan K.O., Lobzin E.V., Kapustin V.M., Lugovskoy A.I., Rudyak K.B. Issledovaniye sostava i reaktivnosti sposobnosti sernistykh soyedineniy v protsesse gidrobesserivaniya dizelnogo topliva [Research of structure and reactivity of sulphurous compounds at diesel fuel hydrodesulphurization]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt*, 2001, no. 11, pp. 62–67.
- Ganeyeva Yu.M. *Nadmolekulyarnaya struktura vysokomolekulyarnykh komponentov neftey i ee vliyaniye na svoystva neftyanyykh sistem*. Avtoref. Dokt. Diss. [Supramolecular structure of high-molecular components of oil and its influence on properties of oil systems. Abstract Dr. Diss.]. Kazan, 2013. 42 p.