

А. Р. Ахмедова (вед. инж.) ¹, О. В. Серебренникова (д.х.н., проф., зав. лаб.) ²

ФЕНИЛАЛКАНЫ В МОРСКИХ НЕФТЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

¹ Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья,
отдел геологии и нефтегазоносности мезозоя

630091, г. Новосибирск, Красный пр., 67; e-mail: ahmedova-sniiggims@yandex.ru

² Институт химии нефти Сибирского отделения Российской Академии наук,
лаборатория природных превращений нефти

634055, г. Томск, Академический пр., 4; e-mail: ovs49@yahoo.com

A. R. Akhmedova ¹, O. V. Serebrennikova ²

PHENYLALKANES IN MARINE OILS OF THE EASTERN SIBERIA

¹ Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources
67, Krasnyi Prospekt Str., 630091, Novosibirsk, Russia; e-mail: ahmedova-sniiggims@yandex.ru

² Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
4, Akademicheskii Prospekt Str., 634055, Tomsk, Russia; e-mail: ovs49@yahoo.com

Изомеры фенилалканов с числом атомов углерода в молекуле от C₁₆ до C₁₉ были идентифицированы методом хромато-масс-спектрометрии в нефтях центральной части Восточной Сибири, отобранных из отложений рифея, венда и кембрия. Фенилалканы определены во всех изученных нефтях и характеризуются близким распределением гомологов. Однако их содержание меняется в широких пределах от 3.9 до 27.5 % относительно суммы моноциклических ароматических углеводородов. Анализ результатов показал отсутствие связи содержания фенилалканов с возрастом вмещающих нефть отложений и степенью термической преобразованности нефти. Возможно, различие в содержании фенилалканов связано с составом биопродуцентов, из которого формировалось исходное органического вещества, или условиями осадконакопления.

Ключевые слова: Восточная Сибирь; моноциклические ароматические углеводороды; нефть; Сибирская платформа; фенилалканы.

Результаты исследований получены в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500046-7).

Phenylalkane isomers extend from C₁₆ to C₁₉ have been identified by chromato-mass-spectrometry in the oils of the central part of The Eastern Siberia. The samples have been selected from the Riphean, Vendian and Cambrian deposits. Phenylalkanes have been identified in all oils studied. Oils show similar distribution of phenylalkanes homologues. However, the content of phenylalkanes varies widely from 3.9 to 27.5 % relative to the amount of monocyclic aromatic hydrocarbons. The analysis of the results showed the absence of a relationship between the content of phenylalkanes and the age of deposits and oil thermal maturity degree. Perhaps, the difference in the content of phenylalkanes depends on the organic matter input or depositional environment.

Key words: Eastern Siberia; monocyclic aromatic hydrocarbons; petroleum; phenylalkanes; Siberian platform.

The results of the research were obtained within the framework of the state task of the Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (no. 121031500046-7).

Линейные алкилбензолы – фенилалканы (ФА) представляют собой производные бензола с алкильным заместителем, разветвленным по α -связи к бензольному кольцу. Долгое время эти соединения в нефтях и органическом веществе (ОВ) пород связывали с техногенной природой, т.к. они входят в состав промышленных масел и моющих средств ^{1, 2}. Однако наличие их в породах, сформированных во времена, когда такие моющие средства еще отсутствовали, ставит под сомнение предположение об этом единственном источнике ФА.

Отдельные гомологи ФА были обнаружены в экстрактах незрелых осадков ³, высокосернистых углей ⁴ и в гидротермальной нефти ⁵. ФА состава C_{13} – C_{35} были идентифицированы в донных отложениях и их пиролизатах, а также в ОВ пород и сырых нефтях Австралии ⁶. 3-фенил-4-метилалканы были найдены в нефтях и продуктах термолитизации керогенов ^{7, 8}. ФА состава C_{17} – C_{19} обнаружены при исследовании экстрактов 30 аргиллитов ⁹ и в асфальтите Ивановского месторождения ¹⁰. В более поздних работах ФА были идентифицированы в современных осадках, отобранных в области распространения газовых гидратов Мексиканского залива ¹¹, в экстрактах ураноносных пород Китая ¹², в торфах юга Западной Сибири (болото «Темное», которое удаленно от возможных источников техногенного загрязнения) ¹³ и в образцах придонной воды оз. Байкал ¹⁴.

Несмотря на то, что биологические предшественники ФА однозначно не установлены, возможными биопродуцентами могут быть археи, в том числе наземные термофильные формы *Thermoplasma acidophilum*, ассоциированные с анаэробным окислением метана ⁶. Повышение содержания ФА зафиксировано также в торфах, подвергающихся интенсивному микробиальному воздействию ¹³. На модельных экспериментах показано образование ФА в результате взаимодействия первичных спиртов C_{11} – C_{13} с бензолом при участии глинистых минералов в качестве катализатора, реакция идет по карбоний-ионному механизму ¹⁵.

В работах ^{12, 13, 16, 17} выявлены корреляции между содержанием ФА в осадке, условиями накопления и различным составом биопродуцентов, из которых формировалось исходное ОВ. Так, при изучении ОВ пород верхней юры и нижнего мела северо-восточного обрамления Сибирской платформы (низовье р. Оленек) ¹⁶ были выделены разновозрастные осадочные толщи, отличающиеся содержанием в них ФА. Авторы предполагают, что повышение содержания ФА в породах обусловлено регрессией морского бассейна, т.к. сопровождается характерной сменой литологического

состава осадков, фаунистических, и палинологических ассоциаций.

Повышенное содержание ФА в торфах болота «Темное» фиксируется на участках, где наблюдается существенная бактериальная переработка ОВ в периоды обсыхания поверхности болота ¹³.

При изучении состава биомолекул (в том числе и ФА) ¹⁷ в колонке карбонатных отложений озера Доронинское (Восточная Сибирь) была выявлена прямая связь содержания ФА с периленом ($R^2 = 0.86$), на основании чего высказано предположение о возможном родоначальнике ФА – лигнине, содержащем моноциклические ароматические структурные звенья, которые трансформировались под воздействием продуцирующих перилен грибов-базидиомицетов.

В работе ¹² при изучении ОВ отложений литологического состава были выявлены различия в распределении ФА C_{15} – C_{19} и других геохимических параметров, указывающие на отличия в составе биопродуцентов ОВ в этих отложениях.

Таким образом, в последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес к ФА как к соединениям, имеющим биогеохимический источник. В дальнейшем данные о содержании и составе ФА могут применяться в различных геохимических работах, сопровождающих разведку и поиск нефти и газа.

Нефти морского генезиса центральной части Восточной Сибири, являющиеся древнейшими на планете (возраст вмещающих отложений от 509 до 1100 млн лет), залегают в отложениях рифея, венда и кембрия, и составляют основу сырьевой базы нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан. Нефтематеринское вещество этих нефтей было сформировано в восстановительных условиях морского бассейна с повышенной соленостью. Основные биопродуценты состояли преимущественно из бактерий и водорослей ^{18, 19}. На фоне достаточно полной характеристики моно-, би- и триароматических соединений в нефтях Восточной Сибири ^{20–23}, данные о составе ФА приведены только для единичных образцов нефтей Среднеботубинского месторождения ²⁰.

Целью настоящей работы является определение индивидуального состава ФА и их вклада в состав моноциклических ароматических углеводородов морских нефтей центральной части Восточной Сибири.

Материалы и методы

Объектами исследования были нефти (всего 26 проб) трех основных нефтегазоносных областей (НГО) центральной части Восточной Сибири: Непско-Ботубинской, Байкитской и Катангской.

В тектоническом плане НГО занимают одноименные структуры: Катангская седловина, Байкитская и Непско-Ботубобинская антеклизы и часть Предпатомского прогиба. На территории Непско-Ботубобинской НГО продуктивны породы терригенного комплекса венда (V_1 , V_2), карбонатного венд-кембрийского (V_2 – E_1) и нижнекембрийско-

го (E_1) комплексов. В пределах Катангской НГО продуктивны вендские отложения терригенного комплекса, а Байкитской НГО – карбонаты рифейского (R) комплекса и терригенно-карбонатный комплекс венда. Список образцов приведен в примечании к табл. 1.

Таблица 1

**Содержание отдельных групп моноаренов и гомологов фенилалканов
в нефтях Восточной Сибири**

№ образца	Состав АБ, % от суммы моноаренов					Состав ФА, % от суммы C_{16} – C_{19}			
	н-АБ	ФА	н-АТ	н-АК	ФТБ	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}
1	13.6	20.6	40.4	24.3	1.1	16.7	33.5	35.4	14.4
2	12.5	19.3	41.3	25.5	1.4	17.4	33.0	35.3	14.3
3	12.0	8.2	51.5	26.8	1.4	18.3	23.8	32.9	25.1
4	14.1	4.9	55.2	24.9	0.9	20.0	19.9	36.2	23.9
5	16.7	4.3	49.7	28.9	0.3	29.9	32.3	26.8	11.0
6	15.8	3.9	55.9	21.8	2.7	20.6	23.5	29.0	26.8
7	17.8	5.0	52.9	21.5	2.8	23.0	25.5	28.0	23.5
8	21.4	20.3	37.2	18.8	2.2	16.8	32.8	35.8	14.5
9	16.2	27.5	36.6	17.6	2.2	15.5	34.0	37.1	13.3
10	29.7	11.5	40.4	14.7	3.7	16.0	34.7	35.1	14.2
11	25.0	15.7	39.0	17.6	2.7	16.5	33.3	34.7	15.5
12	24.4	5.9	46.3	21.8	1.6	26.2	21.0	29.4	23.4
13	29.1	13.4	38.8	16.3	2.4	16.7	31.8	36.0	15.5
14	26.8	6.4	42.3	21.2	3.3	20.5	25.0	29.7	24.8
15	22.5	7.4	45.7	22.6	1.8	21.8	21.4	32.9	23.8
16	28.0	7.9	42.3	18.9	2.9	18.4	26.8	32.6	22.2
17	29.1	11.6	40.3	15.4	3.6	19.4	30.8	34.3	15.5
18	19.6	15.6	42.0	19.9	2.9	15.6	33.2	36.2	15.0
19	22.9	7.5	41.8	25.6	2.2	20.2	26.7	32.8	20.3
20	32.0	15.4	36.6	12.8	3.2	15.2	31.8	37.3	15.6
21	27.7	12.6	39.7	16.7	3.3	16.0	31.2	36.7	16.0
22	25.4	18.4	37.0	17.0	2.1	18.2	34.7	34.4	12.7
23	29.9	8.8	40.1	17.5	3.7	18.3	26.5	32.8	22.3
24	26.6	4.9	46.7	18.4	3.4	18.9	19.8	36.0	25.3
25	25.5	5.4	43.7	22.7	2.8	20.8	26.8	28.4	24.0
26	23.9	8.1	39.2	24.1	4.7	18.8	22.6	36.4	22.2

Примечание. № образца:

Байкитская НГО, R: 1 – Юрубченская-8, 2271–2284 м; 2 – Юрубченская-108, 2500 м; 3 – Вэдрэшевская-5, 2329–2360 м; 4 – Юрубченская-5, 2285–2295 м; 5 – Сейсморазведочная-1, 3284–3289 м;

Катангская НГО, V₁: 6 – Собинская-32, 2648–2651 м; 7 – Ванаварская-1, 3103.9–3147 м; 8 – Желиндуковская-103, 2587–2638 м; 9 – Собинская-14, 2643–2652 м;

Непско-Ботубобинская НГО:

V₁: 10 – Мирнинская-736, 2150–2161 м; 11 – Верхнечонская-96, 1612–1620 м; 12 – Талаканская-803, 1505–1545 м; 13 – Иллегинское-421-1, 2019–2027 м; 14 – Восточно-Алинское-304-3П, 1449–1463 м; 15 – Дулисьминская-4, 2542–2547 м;

V₂: 16 – Иреляхская-737, 2144–2154 м; 17 – Тас-Юряхская-560, 1939–1946 м; 18 – Верхнечонская-55, 1604–1620 м; V₂– E_1 : 19 – Восточно-Кийская-181, 2158–2190 м; 20 – Верхневилочанская-677, 1709–1722 м;

E_1 : 21 – Кугаская-364-0, 1315–1321 м; 22 – Среднеботубобинская-25, 1425–1452 м; 23 – Среднеботубобинская-25, 1480 м; 24 – Талаканская, 808, 988.1–1067.1 м; 25 – Центрально-Талаканская-827, 1084–1101 м; 26 – Нижнепепская-187, 1772–1836 м.

Изучение состава ФА в нефтях проводилось методом хромато-масс-спектрометрии гексановой фракции, полученной методом адсорбционной хроматографии на оксиде алюминия (IV степени активности по Брокману). Условия анализа описаны в ²². Соединения идентифицировали по полным масс-спектрам. Для этого использовали спектро-структурные корреляции, приведенные в ^{24, 25}, и компьютерную библиотеку масс-спектров NIST 2005. Масс-фрагментограммы моноциклических ароматических углеводородов (моноаренов) получены по m/z 91 – *n*-алкилбензолы и ФА, m/z 105 – *n*-алкилтолуолы, m/z 119 – *n*-алкилсилолы и m/z 106, 120, 134 – фитанилбензолы и их метилзамещенные гомологи. Относительные содержания отдельных групп моноаренов (табл. 1) рассчитывались как отношение сумм площадей пиков каждой группы к их сумме.

Результаты и их обсуждение

В составе моноаренов морских нефтей Восточной Сибири идентифицированы алкилбензолы (*n*-АБ), алкилтолуолы (*n*-АТ) и алкилсилолы (*n*-АК) с алифатической цепью нормального строения, содержащей от 5 до 21 и выше атомов углерода. Распределение моноаренов унимодальное с максимумом в низкомолекулярной области C_{13} – C_{17} , что отражает состав ненасыщенных жирных кислот биопродуктов: бактерий и водорослей ^{2, 20, 21}. Особенностью состава моноаренов исследованных нефтей является повышенное содержание *n*-АБ C_{21} и *n*-АТ C_{22} по сравнению с соседними гомологами, что может быть связано с дополнительным источником этих соединений ^{20, 21}. В составе моноаренов доминируют *n*-АТ, а *n*-АБ и *n*-АК содержатся в близких концентрациях (табл. 1). Наряду с ними в низкой относительной концентрации присутствуют моноарены, содержащие регулярную изопреноидную цепь C_{20} – фитанилбензолы (ФТБ).

Фенилалканы обнаружены во всех изученных нефтях, что показало широкое распространение этих необычных алкилбензолов. Содержание ФА в составе моноаренов варьирует в довольно широких пределах (от 3.9 до 27.5 %, в среднем 11.2%). Максимальные вариации в их концентрации зафиксированы в нефтях из отложений рифея и нижнего венда Байкитской и Катангской НГО. На рис. 1 приведены примеры масс-фрагментограмм с максимальным (обр. №9) и минимальным (обр. №7) содержанием фенилалканов.

В изученных нефтях фенилалканы присутствуют в виде четырех групп изомеров с молекулярной массой (M): $C_{16}H_{26}$, $M = 218$; $C_{17}H_{28}$, $M = 232$; $C_{18}H_{30}$, $M = 246$; $C_{19}H_{32}$, $M = 260$.

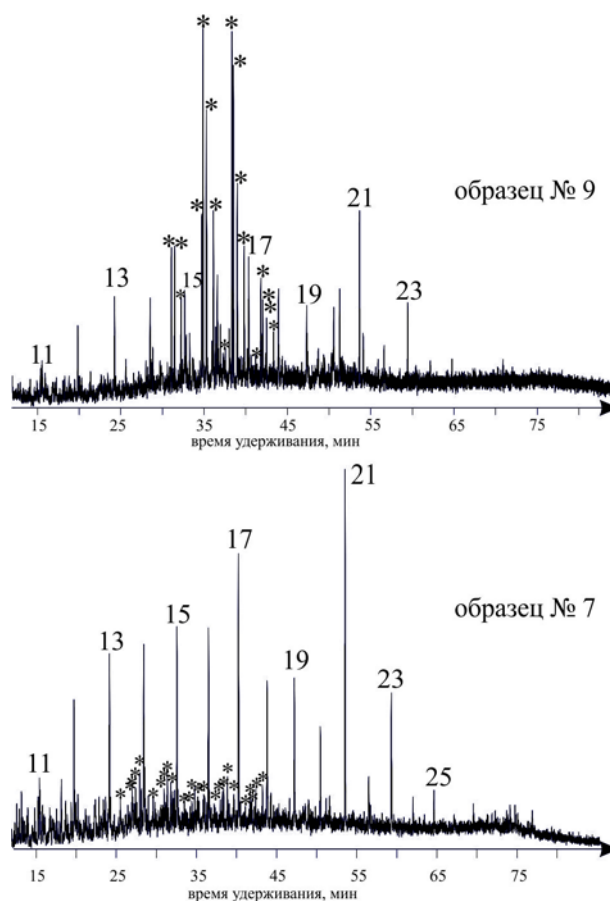


Рис. 1. Масс-фрагментограммы моноаренов нефтей (№ образца в табл. 1) по m/z 91. Цифрами обозначены *n*-алкилбензолы состава C_{11} – C_{25} , * – фенилалканы состава C_{16} – C_{19}

Каждая группа состоит из 5 изомеров (кроме ФА C_{16} , среди которых не был обнаружен 6-фенилдекан), отличающихся положением фенильного (C_6H_5 -) заместителя в алкильной цепи. В масс-спектрах этих соединений присутствуют осколочные ионы, соответствующие бензильному разрыву основной цепи и алкильного заместителя в α -положении. При этом образуется стабильный тропилий-катион с $m/z = 91$, и различные осколочные ионы, m/z которых зависит от строения алкильной цепи. В отличие от *n*-АБ, ФА характеризуются крайне низкой интенсивностью «псевдомолекулярного» иона $m/z = 92$, который образуется в результате перегруппировочного процесса (перегруппировка Мак-Лафферти) ²⁵. На рис. 2 показан пример фрагментации и масс-спектры фенилалканов C_{17} .

На масс-фрагментограмме по $m/z = 91$ (рис. 3) изомеры в каждой группе расположены от наиболее симметричных соединений (пики 5, 10, 15), в которых фенильный заместитель находится в середине алкильной цепи ($R_1 \approx R_2$) – 6-фенилалканы к наименее симметричным 2-фенилалканам (пики 4, 9, 14, 19).

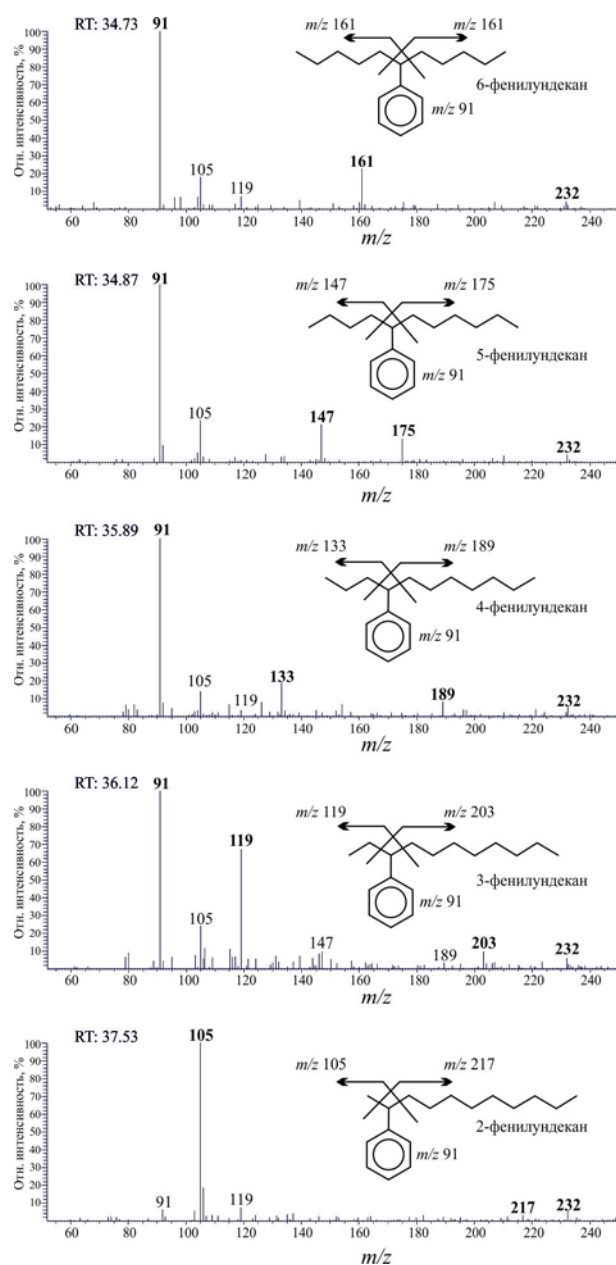


Рис. 2. Структурные формулы, схемы фрагментации и масс-спектры изомеров фенилундекана C_{17} (обр. №9 в табл. 1). RT – время удерживания, мин

Анализ распределения идентифицированных групп моноциклических ароматических УВ в нефтях отдельных НГО показывает преобладание n -АТ в составе моноаренов нефтей всех исследованных областей. При переходе от нефтей рифея Байкитской НГО к нефтям венда Катангской и разновозрастным нефтям Непско-Ботубинской НГО среднее содержание n -АБ, ФТБ увеличивается, а n -АТ падает (рис. 4). По сравнению с остальными в нефтях рифея Байкитской НГО повышено содержание n -АК.

Максимальные средние значения относительного содержания ФА присущи нефтям ниж-

него венда Катангской НГО, а минимальные – нефтям нижнего венда и нижнего кембрия Непско-Ботубинской НГО. Это указывает на отсутствие связи количества ФА с возрастом вмещающих нефть отложений, а сопоставление распределения в нефтях ФА с ранее полученными данными о термической преобразованности соответствующих нефтей²³ – на отсутствие зависимости их содержания от термической истории нефти.

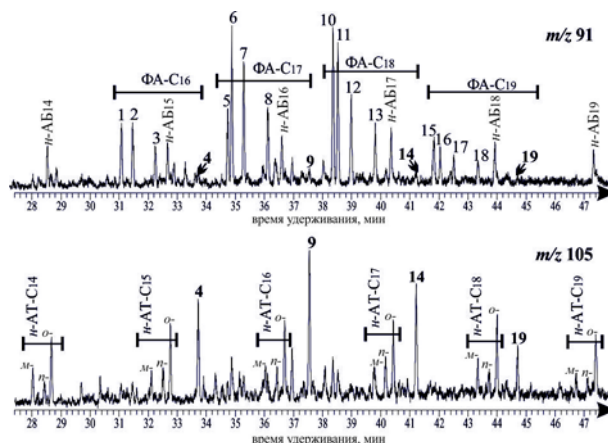


Рис. 3. Масс-фрагментограммы моноаренов нефти (обр. №9 в табл. 1). Положение алкильного заместителя в n -АТ: m - – мета-(1,3-); p - – пара-(1,4-); o - – орто-(1,2-); ФА – фенилалканы C_{16} – C_{19} ; пики ФА: 6-фенилалканы – 5, 10, 15; 5-фенилалканы – 1, 6, 11, 16; 4-фенилалканы – 2, 7, 12, 17; 3-фенилалканы – 3, 8, 13, 18; 2-фенилалканы – 4, 9, 14, 19

Среди ФА во всех изученных нефтях преобладают гомологи C_{18} и C_{17} (табл. 1). В составе изомеров C_{18} доминирует 6-фенилдодекан, C_{17} – 5-фенилундекан, 5- и 4-фенилдеканы присутствуют в максимальной близкой концентрации в составе изомеров C_{16} , а 6- и 5-фенилтридеканы – в составе C_{19} .

Таким образом, анализ наличия фенилалканов в морских нефтях центральной части Восточной Сибири, залегающих в отложениях от рифейского до кембрийского возраста, показал их повсеместное распространение и единообразный состав в различных нефтях. Содержание ФА в нефтях не зависит от возраста вмещающих отложений и термической истории нефти. Различие в содержании ФА в нефтях Восточной Сибири может быть связано с условиями накопления и составом биопродуктов, формировавших исходное нефтематеринское ОВ, но обоснование этого требует дальнейших исследований. Тем не менее, анализ и сопоставление содержания ФА в нефтях и рассеянном органическом веществе пород может в дальнейшем найти применение при идентификации нефтематеринских толщ, генерировавших соответствующие нефти.

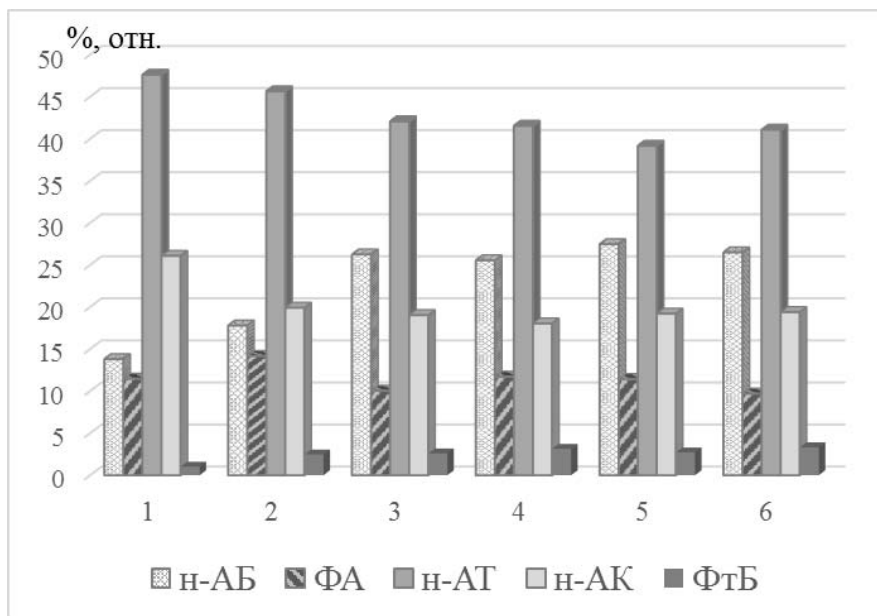


Рис. 4. Содержание отдельных групп моноаренов в нефтях, залегающих в разновозрастных отложениях в пределах отдельных НГО (средние значения): 1 – R; Байкитская НГО; 2 – V₁, Катангская НГО; 3–6 – Непско-Ботубобинская НГО: 3 – V₁; 4 – V₂; 5 – V₂–Є₁; 6 – Є₁

Литература

1. Eganhouse R.P., Blumfield D.L., Kaplan I.R. Long-chain alkylbenzenes as molecular tracers of domestic waste in the marine environment // *Environmental Science and Technology*. – 1983. – V.17, №9. – Pp.523-530.
2. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. – New York: Cambridge University Press, 2005. – 1155 p.
3. Vella A.J., Holzer G. Distribution of isoprenoid hydrocarbons and alkylbenzenes in immature sediments – evidence for direct inheritance from bacterial algal sources // *Organic geochemistry*. – 1992. – V.18, №2. – Pp.203-210.
4. Gorchs R., Olivella M.A., de las Heras F.X.C. New aromatic biomarkers in sulfur-rich coal // *Organic Geochemistry*. – 2003. – V.34, №12. – Pp.1627-1633.
5. Venkatesan M.I., Ruth E., Rao P.S., Nath B.N. Rao B.R. Hydrothermal petroleum in the sediments of the Andaman Backarc Basin, Indian Ocean // *Applied Geochemistry*. – 2003. – V.18, №6. – Pp.845-861.
6. Ellis L., Langworthy T.A., Winans R.E. Occurrence of phenylalkanes in some Australian crude oils and sediments // *Organic Geochemistry*. – 1996. – V.24, №1. – Pp.57-69.
7. Коржов Ю.В., Головкин А.К., Туров Ю.П. Изучение состава нефтяных алкилбензолов методом хромато-масс-спектрометрии // *Известия СО АН СССР. Серия Химические Науки*. – 1989. – Вып.4. – С.19-24.
8. Головкин А.К., Конторович А.Э., Певнева Г.С. Геохимическая характеристика нефтей Западной Сибири по составу алкилбензолов // *Геохимия*. – 2000. – Т.38, №3. – С.282-293.

References

1. Eganhouse R.P., Blumfield D.L., Kaplan I.R. [Long-chain alkylbenzenes as molecular tracers of domestic waste in the marine environment]. *Environmental Science and Technology*, 1983, vol.17, no.9, pp.523-530.
2. Peters K.E., Walters C.C. and Moldowan J.M. [The biomarker guide]. New York, Cambridge University Press, 2005, 1155 p.
3. Vella A.J., Holzer G. [Distribution of isoprenoid hydrocarbons and alkylbenzenes in immature sediments – evidence for direct inheritance from bacterial algal sources]. *Organic geochemistry*, 1992, vol.18, no.2, pp.203-210.
4. Gorchs R., Olivella M.A., de las Heras F.X.C. [New aromatic biomarkers in sulfur-rich coal]. *Organic Geochemistry*, 2003, vol.34, no.12, pp.1627-1633.
5. Venkatesan M.I., Ruth E., Rao P.S., Nath B.N. Rao B.R. [Hydrothermal petroleum in the sediments of the Andaman Backarc Basin, Indian Ocean]. *Applied Geochemistry*, 2003, vol.18, no.6, pp.845-861.
6. Ellis L., Langworthy T.A., Winans R.E. [Occurrence of phenylalkanes in some Australian crude oils and sediments]. *Organic Geochemistry*, 1996, vol.24, no.1, pp.57-69.
7. Korzhov Yu.V., Golovko A.K., Turov Yu.P. *Izucheniye sostava neftyanykh alkilbenzolev metodom khromato-mass-spektrometrii* [Studying the composition of petroleum alkylbenzenes by chromatography-mass spectrometry]. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya Khimicheskie Nauki* [News of the USSR Academy of Sciences. Chemical Sciences Series], 1989, no.4, pp.19-24.
8. Golovko A.K., Kontorovich A.E., Pevneva G.S. *Geokhimicheskaya kharakteristika neftei Zapadnoi Sibiri po sostavu alkilbenzolev* [Composition and

9. Антипенко В.Р. Термические превращения высоко-сернистого природного асфальта: Геохимические и технологические аспекты. – Новосибирск: Наука, 2013. – 184 с.
10. Антипенко В.Р., Голубина О.А., Гончаров И.В., Носова С.В. Особенности состава моноциклических ароматических углеводородов асфальтита Ивановского месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т.309, №5. – С.73-76.
11. Wang C., Sun H., Song Zh., Zhang T. The distribution of phenylalkanes in the morden sediment associated with gas hydrate from the Gulf of Mexico // *Acta Oceanologica Sinica*. – 2008. – V.27, №6. – Pp.71-82.
12. Tuo J., Chen R., Zhang M., Wang X. Occurences and distributions of branched alkylbenenes in the Dongsheng sedimentary uranium ore deposits, China // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2010. – V.39, №6. – Pp.770-785.
13. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., and Gulaya E.V. Hydrocarbon Composition of the Organic Matter of Peats in the South of Western Siberia // *Solid Fuel Chemistry*. – 2010. – V.44, №5. – Pp.324-334.
14. Горшков А.Г., Маринайте И.И., Земская Т.И., Ходжер Т.В. Современный уровень нефтепродуктов в воде озера Байкал и его притоков // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2010. – Т.18, №6. – С.711-718.
15. Williams J.A., Dolcater D.L., Torkelson B. E., Winters J. C. Anomalous concentrations of specific alkylaromatic and alkylcycloparaffin components in West Texas and Michigan crude oils // *Organic Geochemistry*. – 1988. – V.13, №1-3. – Pp.47-59.
16. Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пещевецкая Е.Б., Фурсенко Е.А., Шевченко Н.П. Органическая геохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела низовьев р. Оленек (северо-восточное обрамление Сибирской платформы, Арктическая Сибирь) // *Геология и геофизика*. – 2020. – Т.61, №12. – С. 1716-1734.
17. Серебренникова О.В., Борзенко С.В., Ельчанинова Е.А., Стрельникова Е.Б., Русских И.В. Вертикальное распределение биомолекул в карбонатных отложениях и бактериальном мате степного щелочного озера (Восточное Забайкалье) // *Геохимия*. – 2022. – Т.67, №5. – С.1-19.
18. Баженова Т.К., Дахнова М.В., Жеглова Т.П., Лебедев В.С., Можегова С.В., Ларкин В.Н., Назарова Е.С., Нечитайло Г.С., Грайзер Э.М., Киселев С.М., Киселева Ю.В., Горюнова Е.А., Борисова Л.Б. Нефтематеринские формации, нефти и газа докембрия и нижнего-среднего кембрия Сибирской платформы. – М.: ВНИГНИ, 2014. – 128 с.
19. Kelly A.E., Love G.D., Zumberge J.E., Summons R.E. Hydrocarbon biomarkers of Neoproterozoic to Lower Cambrian oils from eastern Siberia // *Organic Geochemistry*. – 2011. – V.42, №6. – Pp.640-654.
20. Петров Ал.А. Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 263 с.
21. Иванова И.К., Каширцев В.А. Особенности распределения моноалкилбензолов состава C₁₂H₁₈–C₂₇H₄₈ в венд-кембрийских нефтях Сибирской платформы // *Геология нефти и газа*. – 2010. – Т.51, №11. – С.1539-1544.
22. distribution of alkyl naphthalenes in West Siberian oils]. *Geokhimiia* [Geochemistry International], 2000, vol. 38, no. 3, Pp.282 - 293.
9. Antipenko V.R. *Termicheskiye prevrashcheniya vysokosernistogo prirodnogo asfal'ta: Geokhimicheskiye i tekhnologicheskiye aspekty* [Thermal transformations of high-sulfur natural asphalt: Geochemical and technological aspects]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013, 184 p.
10. Antipenko V.R., Golubina O.A., Goncharov I.V., Nosova S.V. *Osobennosti sostava monotsiklicheskih aromaticheskikh uglevodorodov asfal'tita Ivanovskogo mestorozhdeniya* [Specifics of the composition of monocyclic aromatic hydrocarbons in asphaltite from The Ivanovskoe deposit]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2006, vol.309, no.5, pp.73-76.
11. Wang C., Sun H., Song Zh., Zhang T. [The distribution of phenylalkanes in the morden sediment associated with gas hydrate from the Gulf of Mexico]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, vol.27, no.6, pp.71-82.
12. Tuo J., Chen R., Zhang M., Wang X. [Occurences and distributions of branched alkylbenenes in the Dongsheng sedimentary uranium ore deposits, China]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, vol.39, no.6, pp.770-785.
13. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., and Gulaya E.V. [Hydrocarbon Composition of the Organic Matter of Peats in the South of Western Siberia]. *Solid Fuel Chemistry*, 2010, vol.44, no.5, pp.324-334.
14. Gorshkov A.G., Marinaite I.I., Zemskaya T.I., Khodzher T.V. *Sovremennyyi uroven' nefteproduktov v vode ozera Baikal i ego pritokov* [Modern level of oil products in water of lake Baikal and its tributaries]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2010, vol.18, no.6, pp.711-718.
15. Williams J.A., Dolcater D.L., Torkelson B. E., Winters J. C. [Anomalous concentrations of specific alkylaromatic and alkylcycloparaffin components in West Texas and Michigan crude oils]. *Organic Geochemistry*, 1988, vol.13, no.1-3, pp.47-59.
16. Kashirtsev V.A., Nikitenko B.L., Peshchevitskaia E.B., Fursenko E.A., Shevchenko N.P. *Organicheskaya geokhimiya i mikrofosilii verkhnei yury i nizhnego mela nizov'ev r. Olenek* (severo-vostochnoe obramlenie Sibirskoi platformy, Arkticheskaya Sibir') [Organic geochemistry and microfossils of the upper jurassic and lower cretaceous strata in the lower reaches of the Olenek river (northeastern framing of the Siberian platform, Arctic Siberia)]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2020, vol.61, no.12, pp.1716-1734.
17. Serebrennikova O.V., Borzenko S.V., El'chaninova E.A., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V. *Vertikal'noe raspredelenie biomolekul v karbonatnykh otlozheniyakh i bakterial'nom mate stepnogo shcheloch'nogo ozera (Vostochnoe Zabaikal'e)* [Vertical distribution of biomolecules in carbonate sediments and bacterial mat of the steppe alkaline lake (Aastern Transbaikalia)]. *Geokhimiya* [Geochemistry International], 2022, vol.67, no.5, pp.1-19.
18. Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Zheglova T.P., Lebedev V.S., Mozhegova S.V., Larkin V.N., Nazarova E.S., Nechitailo G.S., Graizer E.M., Kiselev S.M., Kiseleva Iu.V., Goriunova E.A., Borisova L.B.

22. Ахмедова А.Р., Серебренникова О.В. Шиганова О.В. Состав углеводородов нефтей центральной части Восточной Сибири // Журнал Сибирского федерального университета: Химия. – 2018. – Т.2, №11. – С.230-248.
23. Ахмедова А.Р., Серебренникова О.В. Шиганова О.В. Особенности состава и свойств нефтей венд-нижнекембрийских и рифейских отложений центральной части Сибирской платформы // Химия в интересах устойчивого развития. – 2021. – Т.29, №4. – С.391-400.
24. Петров А.А., Головкина Л.С., Русинова Г.В. Масс-спектры нефтяных углеводородов. Справочник (атлас). – М.: Недра, 1986. – 312 с.
25. Вульфсон Н.С., Заикин В.Г., Микая А.И. Масс-спектрометрия органических соединений. – М.: Химия, 1986. – 312 с.
19. Kelly A.E., Love G.D., Zumberge J.E., Summons R.E. [Hydrocarbon biomarkers of Neoproterozoic to Lower Cambrian oils from eastern Siberia]. *Organic Geochemistry*, 2011, vol.42, no.6, pp.640-654.
20. Petrov Al.A. *Uglevodorody neftei* [Petroleum Hydrocarbons]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 263 p.
21. Ivanova I.K., Kashirtsev V.A. *Osobennosti raspredeleniya monoalkilbenzolev sostava $C_{12}H_{18}$ – $C_{27}H_{48}$ v vend-kembriiskikh neftiakh Sibirskoi platformy* [Distribution of monoalkylbenzenes $C_{12}H_{18}$ – $C_{27}H_{48}$ in Vendian-Cambrian oils of the Siberian platform]. *Geologiya nefti i gaza* [Russian Oil And Gas Geology], 2010, vol.51, no.11, pp.1539-1544.
22. Akhmedova A.R., Serebrennikova O.V. Shiganova O.V. *Sostav uglevodorodov neftei tsentral'noi chasti Vostochnoi Sibiri* [Composition of hydrocarbons in oils from central part of the Eastern Siberia]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta: Khimiya*. [Journal of Siberian Federal University. Chemistry], 2018, vol.2, no.11, pp.230-248.
23. Akhmedova A.R., Serebrennikova O.V. Shiganova O.V. *Osobennosti sostava i svoystv neftei vend-nizhnnekembriiskikh i rifeiskikh otlozhenii tsentral'noi chasti Sibirskoi platformy* [Features of the composition and properties of oils from Vendian-lower Cambrian and Riphean deposits in the central part of the Siberian platform]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2021, vol.29, no.4, pp.391-400.
24. Petrov Al.A., Golovkina L.S., Rusinova G.V. *Mass-spektry neftiannykh uglevodorodov. Spravochnik (atlas)* [Mass spectra of petroleum hydrocarbons. Reference book (atlas)]. Moscow, Nedra Publ., 1986, 312 p.
25. Vul'fson N.S., Zaikin V.G., Mikaia A.I. *Mass-spektrometriya organicheskikh soedineniy* [Mass spectrometry of organic compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 1986, 312 p.