



А. Н. Фомин

ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ ЩУЧЬИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН ПОЛЯРНОГО УРАЛА)

А. Н. Фомин, С. В. Сараев, В. П. Данилова

(Институт геологии нефти и газа СО РАН)

Впервые приведены сведения о горючих сланцах девонского возраста в пределах восточного склона Полярного Урала. Рассмотрены геологические особенности нахождения их в общем стратиграфическом разрезе, геохимическая характеристика как силикатной, так и органической составляющей породы. Предполагается, что накопление высокобитуминозных осадков происходило в периоды быстрого погружения рифовой системы после этапа карстообразования в обстановках преддугового палеобассейна.

Выходы отложений палеозоя Щучьинского синклинория, расположенные на крайнем востоке обнаженной части Полярного Урала, являются геологическим полигоном для седиментологического и литогеохимического изучения вещественных комплексов палеозоя, слагающих основание разреза западной части Западно-Сибирской геосинеклизы [1]. Детальное изучение его разрезов как в естественных обнажениях, так и в горных выработках и карьерах, пройденных во время разведки Лаборовского месторождения бокситов [2] и строительства железной дороги Лабитнанги – Бованенково, позволяет выделить в составе отложений силура и девона три уровня битумсодержащих известняков и один уровень распространения горючих сланцев (рис. 1). Наибольший геологический интерес представляют горючие сланцы, сведения о которых в литературе отсутствуют. Нахождение горючих сланцев в отложениях среднего девона – редкое явление. По крайней мере, в центральных районах Западно-Сибирского мегабассейна в керне скважин такие породы не были обнаружены. Угли и горючие сланцы были встречены в обнажениях южных районов Западной Сибири.

Разрез эмс-эйфельского возраста [1], расположенный на юго-западе хребта Янгана-Пэ и включающий горизонт горючих сланцев, имеет следующее строение (рис. 1–3, снизу вверх):

1. Светло-серые, розовые массивные известняки эмса (преобладают кальксилиты, реже встречаются калькарениты) с остатками криноидей, амфиопор, водорослей, содержащихся часто на породообразующем уровне – 350...700 м.

2. Карстовые обломочные известняки (обломки серых известняков от первых сантиметров до 50 см) со светло-зеленым бокситовым матриксом (преобладают обломки) – 0,5...6,0 м.

3. Перемытые алеврито-, аргиллитоподобные бокситы эйфеля изменчивой серой, светло-серой, коричневой и темно-серой окраски массивные и неяснослоистые с включениями единичных глыб известняков (до 0,6 м) изометричной формы (подводный коллювий) – 2 м.

4. Горючие сланцы видимой толщиной около 2 м.

Впервые приведены сведения о горючих сланцах девонского возраста в пределах восточного склона Полярного Урала. Рассмотрены геологические особенности нахождения их в общем

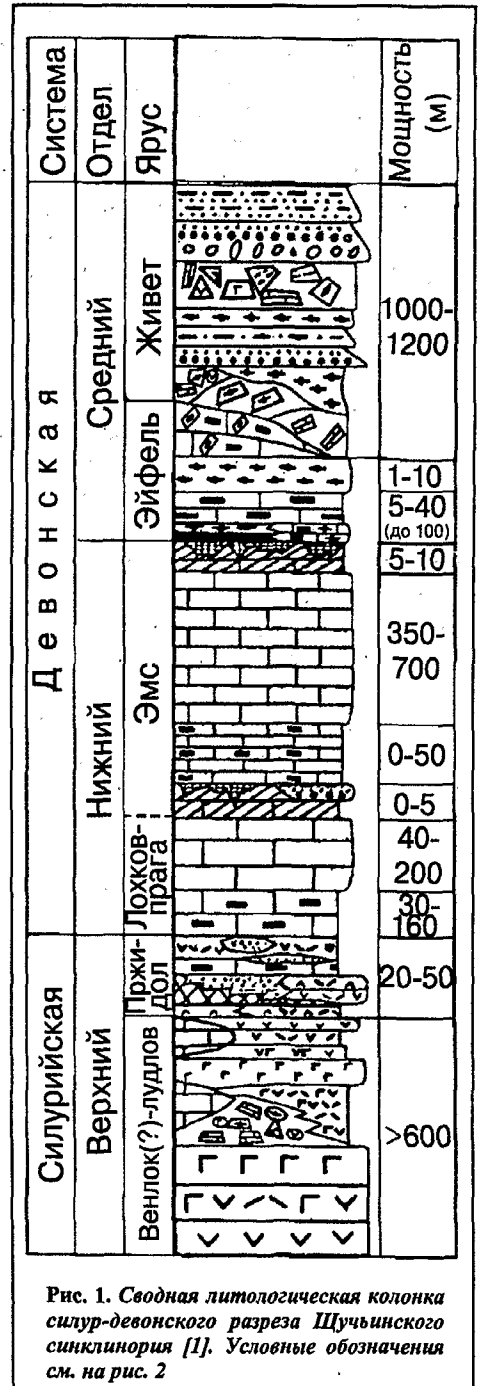


Рис. 1. Сводная литологическая колонка силур-девонского разреза Щучьинского синклинория [1]. Условные обозначения см. на рис. 2

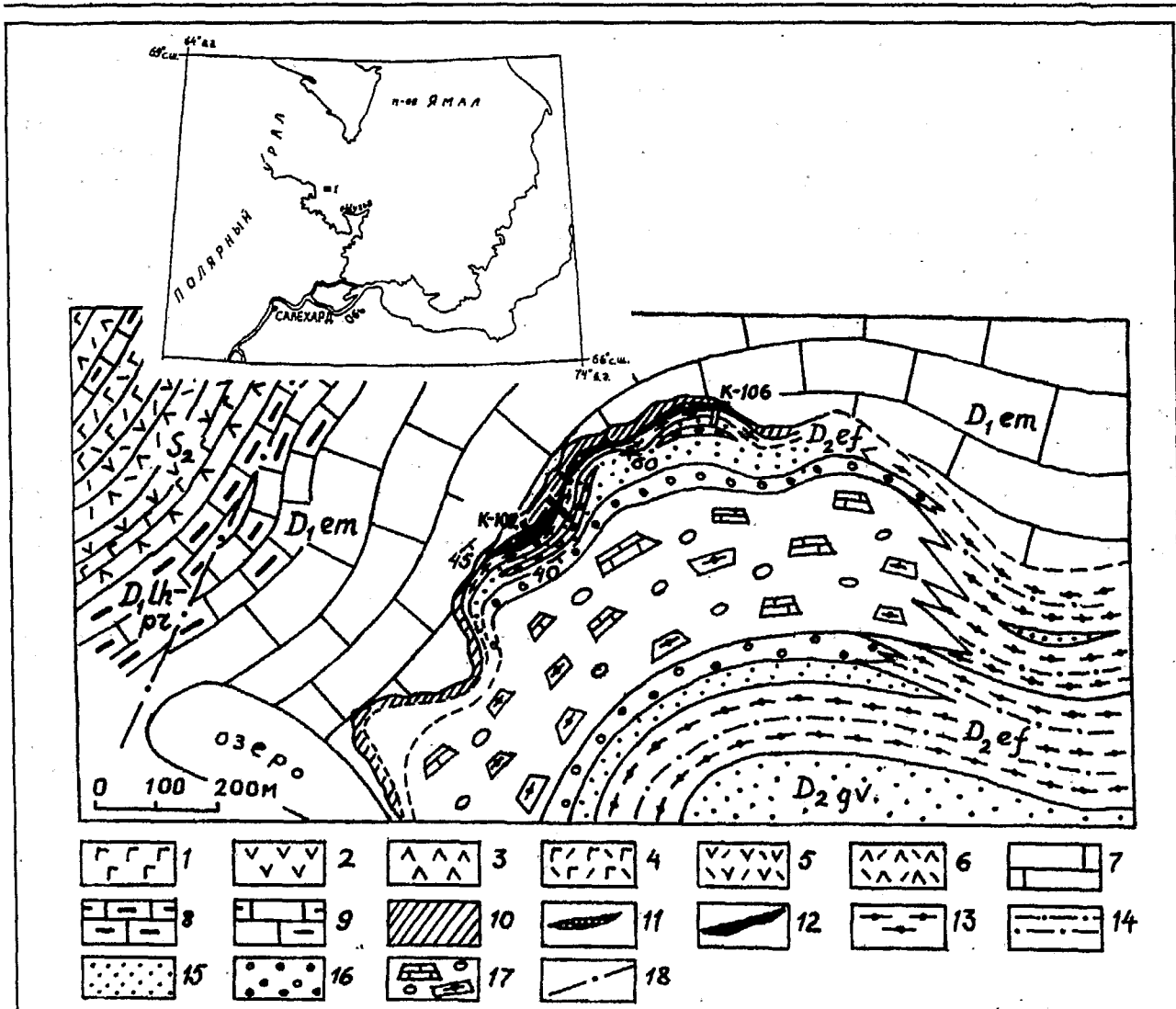


Рис. 2. Схематическая геолого-литологическая карта района распространения горючих сланцев (юго-западная часть хребта Янгана-Пэ):

вулканогенный комплекс отложений: 1 – базальты, андезито-базальты, 2 – андезиты, 3 – дациты, 4 – туфы базальтов, 5 – туфы андезитов и андезито-базальтов, 6 – туфы дацитов; рифовый комплекс отложений: 7 – известняки (фации передового склона и подножия рифа), 8 – известняки битуминозные (фации иловых холмов в нижней части передового склона рифа), 9 – известняки слабобитуминозные; 10 – карстовые обломочные известняки с бокситовым цементом, карстовые бокситы; комплекс отложений, связанных с погружением рифа: 11 – переотложенные пелитоморфные бокситы, 12 – горючие сланцы, 13 – радиоляриты, глинисто-кремнистые, туфогенно-кремнистые, алевроито-кремнистые породы; олистостромово-турбидитовый комплекс: 14 – алевролиты, кремнистые алевролиты, 15 – граувакковые песчаники, 16 – гравелиты, 17 – конгломерато-брекчии, валунно-глыбовые брекчии; 18 – тектоническое нарушение. На врезке: 1 – местонахождение выходов горючих сланцев

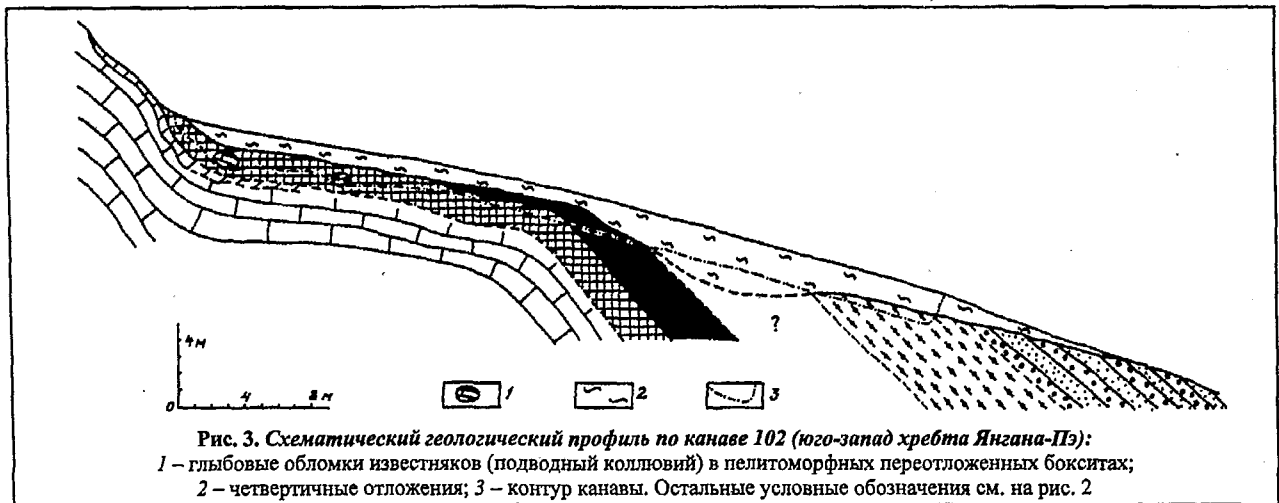


Рис. 3. Схематический геологический профиль по канаве 102 (юго-запад хребта Янгана-Пэ):
1 – глыбовые обломки известняков (подводный коллювий) в пелитоморфных переотложенных бокситах;
2 – четвертичные отложения; 3 – контур канавы. Остальные условные обозначения см. на рис. 2

стратиграфическом разрезе, геохимическая характеристика как силикатной, так и органической составляющей породы. Предполагается, что накопление высокобитуминозных осадков происходило в периоды быстрого погружения рифовой системы после этапа карстообразования в обстановках преддугового палеобассейна.

5. Не вскрытый канавой 102 интервал (толщина около 5 м) и соответствующий, по-видимому, глубоко размытой части слоя горючих сланцев, имеющих на этом интервале крутое падение и судя по элювиальным обломкам углеродисто-карбонатный и углеродисто-глинистый состав с включениями конкреций пирита.

6. Зеленые, вишневые, пятнистые силициты (радиоляриты), глинисто-алевритовые силициты – 6 м.

7. Зеленовато-серые гравелиты и песчаники неясно градационно-слоистые – видимая толщина более 10 м.

8. Олистостромовые конгломератобрекчии с галечно-валунно-глыбовой размерностью обломков и неясной грубой линзовидностью, обусловленной изменением размера обломков и их состава (внизу преобладают обломки известняков, вверху – силицитов). Видимая толщина более 50 м.

Горизонт горючих сланцев изменчивой толщины прослеживается по простиранию системой канав (см. рис. 2) на расстоянии 350 м. Приведенный разрез, начиная со слоя 3, обладает резкой фациальной изменчивостью по простиранию (см. рис. 2). За пределами приведенной крупномасштабной схемы, в 3 км к востоку, в составе отложений развиты бокситы обломочного строения, радиоляриты, битумсодержащие комковатые конгломератовидные известняки глубоководного облика. Проявления горючих сланцев единичны. Сменяющие эти отложения олистостромовые брекчии сложены изометричными обломками известняков, силицитов, вулканитов основного и среднего состава, известны также редкие крупные олистолиты бокситов. По простиранию линзы олистостромовых груботерригенных отложений и флюксогубидитов, как и в описанной выше части хребта Янгана-Пэ, сменяются алевритовыми, глинистыми, реже сравнительно гомогенными силицитами.

Горючие сланцы хребта Янгана-Пэ в сухом виде обладают коричнево-черной окраской, распадаются на тонкие хрупкие пластинки, которые загораются от пламени спички. Для них характерны параллельная и линзовидная микрослойчатость, обусловленная чередованием пелитоморфных полуизотропных слоев

толщиной около 0,02 мм, незначительно различающихся содержанием органического вещества и тонкодисперсного глиноземистого материала (сезонная слоистость?). Встречаются рассеянные включения (0,05...0,5 мм) обломков аллитов изометричной и слабо уплощенной формы и фоссилизированных фрагментов растительных (в том числе водорослевых) остатков удлиненной формы (0,1...0,4 × 0,01...0,02 мм). Для основной массы нередко характерно слабо проявившееся агрегатное погасание, обусловленное параллельной ориентировкой уплощенных частиц пелитовой размерности.

В составе горючих сланцев рентгеноструктурным анализом определены бемит, диаспор, каолинит, байерит, гидрослюда, монтмориллонит и смешанослойные минералы. Содержание $C_{орг}$ в них изменяется в 5 пробах от 22,1 до 33,3 %, составляя в среднем 27 %. Специфический минеральный состав горючих сланцев нашел отражение в их химическом составе. Содержание Al_2O_3 в них изменяется от 23,1 до 31,3 %. Основное количество его приходится на минералы свободного глинозема, силикатная основа горючих сланцев (за вычетом из состава породы $C_{орг}$) соответствует аллитам. Содержание SiO_2 варьирует от 19,9 до 27 %. Не исключено, что в пелитоморфной неорганической массе породы содержится рентгеноаморфная примесь свободного кремнезема (если учесть согласное перекрытие слоя горючих сланцев радиоляритами). Для горючих сланцев, как и для бокситов, характерны высокое содержание TiO_2 (от 1,26 до 1,85 %) и полное отсутствие в составе карбонатного компонента.

По микроэлементному составу горючие сланцы мало отличаются от подстилающих их перемытых бокситов (таблица). Коэффициенты концентрации (кк) для горючих сланцев, рассчитанные по глинам [3], для U, Li, Sc, Hf характеризуются значениями 2...3, для Pb, Cu, Ni, Cr, Th, Ta – 0,9...2,0, для Co, Zn – 0,5...0,9, для Sr, Mn, Ba, Rb – <0,5. Наиболее высокие содержания в горючих сланцах отмечены для урана (кк от 4 до 6). Близкие значения получены и для бокситов (кк для бокситов: Cu, Li, Pb – 2...5; V, Zn, Ni, Cr, Co – 0,9...2,0; Sr, Mn, Ba, Rb – <0,5). Таким образом, микроэлементный состав горючих сланцев обусловлен их силикатной основой, близкой по соотношению порообразующих компонентов к бокситам.

Сравнение концентраций редкоземельных элементов – РЗЭ (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu – нейтронно-активационный анализ) в горючих сланцах с

Микроэлементный состав горючих сланцев (г/т) по данным атомно-абсорбционного и нейтронно-активационного анализов (аналитик В. А. Бобров)

Номер образца	U	Th	Sc	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Fe	Co	Hf	Ta	Cr
Я-25-35	14,5	13,5	66	76	136	100	13,4	4,3	2,65	12,5	1,83	0,9	7,0	9,0	1,3	140
Я-25-36	18,0	13,5	67	73	150	91	13,3	4,5	2,5	12,1	1,8	1,1	6,5	10,0	1,0	155
Я-25-56	17,0	10,0	38	55	100	55	8,3	1,9	1,0	5,3	0,8	5,3	2,7	5,7	0,85	230
Я-25-64	20,0	11,0	51	69	123	71	12,0	2,9	1,95	10,7	1,6	4,0	6,0	9,0	0,96	128
Я-25-66	22,0	11,0	51	66	120	64	12,5	3,5	2,4	12,2	1,82	4,1	4,0	8,2	1,1	120

содержанием их в глинах Русской и Северо-Американской платформ [4] показывает, что для всех перечисленных элементов кк превышают 1. Максимальная обогащенность характерна для тяжелых РЗЭ: для Yb от 1,6 до 3,9, для Lu от 1,6 до 3,7.

Комплексом геохимических методов изучали расщепленное органическое вещество (концентрация, генезис, катагенез) и битумоиды из горючих сланцев. Выход битумоидов изменяется от 0,178 до 0,504 % при среднем 0,331 % на породу. В составе органического материала преобладают остатки водорослей, в подчиненном количестве присутствуют аллохтонные фрагменты высших растений. Уровень зрелости ОВ горючих сланцев, установленный по углепетрографическим ($R_{\text{VI}}^0 - 0,73...0,87$ %) биомаркерным параметрам, свидетельствует о том, что они еще не вышли из главной зоны нефтеобразования. Это подтверждается и высоким остаточным нефтегенерационным потенциалом (НИ - 272...282 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$) этих пород.

В битумоидах из сланцев детально изучены УВ биомаркеры (*n*-алканы, алифатические изопреноиды, цикланы стеранового и терпанового (три-, тетра- и пентацикланы) рядов. Нормальные алканы битумоидов из сланцев представлены широким рядом от C_{12} до C_{36} , среди которых преобладают низкомолекулярные (*n*- C_{16} -*n*- C_{18}) *n*-алканы. Коэффициент СРІ в среднем равен 1,06. Нечетность в большей мере проявляется в области высокомолекулярных *n*-алканов. Отношение $n-C_{25-31}/n-C_{26-32}$ в среднем равно 1,27, а $n-C_{27}/n-C_{17} - 0,27$.

Основу алифатических изопреноидов ряда C_{14} - C_{25} составляют пристан, норпристан и фитан при резком преобладании пристана (среднее 32,34 %). Отношение Pr/Ph в битумоидах из сланцев в среднем равно 1,89. Разброс этого параметра составляет 1,50...2,29. Алифатические изопреноиды с меньшими молекулярными массами зафиксированы на уровне десятых долей процента.

В составе стеранов битумоидов из сланцев доминируют этилхолестаны (C_{29}). При этом отмечается их уменьшение вниз по разрезу от 51 до 41 %. Среднее содержание этих компонентов в стеранах достигает 46,38 %. Затем по концентрации следуют холестаны и метилхолестаны (соответственно 23,29 и 22,05 %). На долю стеранов C_{30} приходится в среднем 8,28 %. Отношение стеранов C_{29}/C_{27} и C_{29}/C_{28} в битумоидах из сланцев также близки (2,04 и 2,11, соответственно).

В холестанах, этилхолестанах и в 50 % образцов пропилхолестанов среди изомеров доминируют по концентрации $\alpha\alpha$ -стереоизомеры, но в этилхолестанах на второе место по концентрации выходят изостераны ($\alpha\alpha > \beta\beta > \beta\alpha$). В холестанах и пропилхолестанах имеет место изомерный ряд $\alpha\alpha > \beta\alpha > \beta\beta$. В метилхолестанах среди изомеров преобладают перегруппированные структуры ($\beta\alpha > \beta\beta > \alpha\alpha$).

Для каждого из стерановых изомеров по концентрации характерен свой гомологический ряд. В $\alpha\alpha$ -

стереоизомерах гомологи по концентрации располагаются в ряд: $C_{29} > C_{27} > C_{28} > C_{30}$, в изостеранах этот ряд имеет вид: $C_{29} > C_{28} > C_{27} > C_{30}$. В перегруппированных стеранах по концентрации равновероятны ряды $C_{29} > C_{28} > C_{27} > C_{30}$ и $C_{29} > C_{27} > C_{28} > C_{30}$.

В терпанах битумоидов из сланцев отмечается уменьшение сверху вниз УВ гопанового ряда от 71,69 до 51,72 %. При этом такая направленность сохраняется как для гомогопанов (от 27,75 до 17,09 %), так и для фракции норгопаны + гопан C_{30} (от 43,94 до 34,64 %). В среднем гомогопанов в 1,81 раза меньше, чем норгопанов + гопан C_{30} . Вторыми по концентрации в терпанах являются трицикланы, содержание которых увеличивается вниз по разрезу от 19,23 до 39,51 %. Средняя их концентрация достигает 28,66 %. Роль моретанов в терпанах из сланцев близка и составляет в среднем 5,28 %. Примерно в таких же незначительных (3,69...5,65 %, среднее 4,37 %) содержаниях в терпанах находятся тетрацикланы.

Гопаны в зависимости от молекулярной массы в большинстве битумоидов распределены по единой схеме. В максимальных концентрациях присутствует гопан C_{30} , а концентрации норгопана (C_{29}) и гомогопана (C_{31}) близки. Содержание гомогопана C_{35} меньше, чем C_{34} . Отношение C_{35}/C_{34} колеблется в близких значениях (0,36...0,68), составляя в среднем 0,50. Отношение Ts/Tm в битумоидах исследуемых сланцев при разбросе 0,23...0,28 в среднем составляет 0,26, что свидетельствует о невысокой их преобразованности.

В битумоидах из сланцев трицикланы в зависимости от молекулярных масс распределены достаточно пестро. Тенденция к снижению (от 30,50 до 15,99 %) вниз по разрезу отмечается для хейлантанов группы C_{28} - C_{31} , в то время как концентрация УВ C_{23} - C_{26} в этом направлении увеличивается от 19,76 до 30,96 %. Соответственно увеличивается и отношение $\Sigma(C_{23}-C_{26})/\Sigma(C_{28}-C_{31})$ от 0,65 до 1,94. В среднем этот параметр достигает значения 1,16. На низкомолекулярные (C_{19} - C_{20}) гомологи трицикланового ряда от массы трицикланов при разбросе 25,14...36,35 % приходится в среднем 28,76 %.

Гаммацеран в терпановых фракциях исследуемых битумоидов зафиксирован на уровне 0,95...1,53 % при среднем 1,33 %.

Палеогеодинамические обстановки формирования девонских отложений Щучьинского синклиниория рассмотрены в работе [1]. По седиментологическим, петрологическим и геохимическим данным в девоне рассматриваемая территория входила в состав островодужной системы, располагаясь, по-видимому, в пределах преддугового бассейна. Накопление горючих сланцев происходило на переломном этапе развития бассейна, когда после очередного высокогорного стояния рифовых образований выше уровня моря в конце эмса с развитием резко расчлененного карстового рельефа и накоплением карстовых бокситов наступил этап резкого и быстрого повышения уровня моря. Это привело, во-первых, к преобладающе-

му развитию на погружающемся островном склоне гравититовых отложений (турбидиты, олигостромы), а во-вторых, появлению в связи с предшествующим расчлененным карстовым палеорельефом небольших по размерам бассейнов, изолированных от кластических потоков, в которых преобладала планктонная и тонкотерригенная фоновая седиментация. Только с этих позиций можно объяснить фациальное замещение по латерали горючих сланцев, радиоляритов, пелитоморфных комковатых битумсодержащих известняков глубоководного облика на олигостромовые брекчии и турбидиты. В эти бассейны поступал только тонкий (пелитовой размерности) материал, появляющийся при размыве островных карстовых бокситов. Он и определял силикатную основу горючих сланцев. Источником органического вещества горючих сланцев являлись, по-видимому, радиолярии и симбиотичные им водоросли. Эта ассоциация рассматривается в качестве основного продуцента органического вещества в девонском доманике Тимано-Печорского бассейна [5], в 500 км к западу от рассматриваемой территории. Наряду с этим в составе органического вещества присутствуют и мелкие fossilized фрагменты высшей растительности, поступающие вместе с пелитовым бокситовым материалом с погружающейся островной суши. Это нашло отражение в геохимическом составе органического вещества.

В эволюции рифов островодужной системы Тагильской зоны и Щучьинского синклинория и распределении органического вещества в осадках устанавливаются вполне определенные закономерности. Периодам быстрого погружения рифовой системы после этапа карстообразования и накопления бокситов отвечает максимальная обогащенность отложенных органическим веществом. Она выражается появлением в хорошо разбуренных разрезах Северо-Уральского бокситоносного района, Лаборовского месторождения Щучьинского синклинория и Карского рудопроявления западного склона Полярного Урала углеродистых богатых органическими остатками известняков, а в случае максимального обогащения – горючих сланцев [1, 2, 6, 7]. Кроме того, в литературе отмечается присутствие жидкой нефти и твердых битумов как в палеозойском керне скважин, так и в естественных обнажениях при разведке бокситового месторождения Красная Шапочка [8]. Обогащенность органикой отложений на трансгрессивной стадии развития бассейнов и в периоды высокого стояния уровня океана отвечает также более общей закономерности в генерации органического вещества в морях и океанах [9].

Выявление углеродистых пород в палеозойском разрезе восточного склона Полярного Урала, характеристика их нефтегенерационного потенциала и закономерностей распределения углеводородов-биомаркеров позволяют по-новому подойти к оценке нефте-, газогенерационных возможностей палеозойских отложений в прилегающей к Уралу части Западно-Сибирской геосинеклизы. Во время нахождения горючих сланцев на более значительных глубинах в них могли сформироваться скопления жидких углеводородов, а умеренный катагенез ОВ допускает возможность их сохранения. Однако в дальнейшем при подъеме толщ к поверхности образовавшиеся залежи, по-видимому, были разрушены. Об этом свидетельствует нахождение битуминозных известняков поблизости от горючих сланцев.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН – УрО РАН «Восточная граница Уральского подвижного пояса».

ЛИТЕРАТУРА

1. Палеозой Щучьинского выступа: модель геологического строения островодужных комплексов в фундаменте Западно-Сибирской геосинеклизы / А.В. Каныгин, С.В. Сарев, Н.К. Бахарев и др. // Геология и геофизика. – 2004. – № 1. – С. 59–78.
2. Поспелова А.С., Винокуров П.К. Девонские бокситы Щучьинского синклинория (Полярный Урал) // Советская геология. – 1973. – № 7. – С. 129–137.
3. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1961. – Vol. 72, № 2. – P. 175–192.
4. Балаилов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 267 с.
5. Афанасьева М.С., Михайлова М.В. Радиолярии как потенциально возможное исходное органическое вещество нефти // Геология нефти и газа. – 1998. – № 1. – С. 12–21.
6. Анцыгин Н.Я. Путеводитель геологической экскурсии по девонским отложениям Североуральского района. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2003. – 27 с.
7. О бокситоносности Полярного Урала / В.В. Боровский, А.Л. Клопов, А.Е. Иващенко и др. // Тр. / ЗапСибНИГНИ. – 1976. – Вып. 104. – С. 76–86.
8. Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности – новой нефтяной базы СССР / Под ред. Н.Н. Ростовцева и А.А. Трофимука. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. – 201 с.
9. Хэллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность. – М.: Мир, 1983. – 327 с. / Hallam A. Facies interpretation and the stratigraphic record. – Oxford and San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1981.