

УДК 552.578.3(471.501 + 571.1)

ПАЛЕОЗОЙСКИЕ ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2004 г. С. В. Сараев, А. Н. Фомин, В. П. Данилова, Е. А. Костырева

Представлено академиком А.Э. Конторовичем 18.03.2004 г.

Поступило 01.04.2004 г.

Изучение палеозойских отложений на крайнем востоке обнаженной части Полярного Урала и его восточного предгорья (Щучьинский синклинорий) в бассейне р. Щучьей (рис. 1) чрезвычайно важно для характеристики вещественных комплексов, слагающих основание разреза западной части Западно-Сибирской геосинеклизы. В первую очередь это касается встречающихся среди отложений палеозоя Щучьинского синклинория углеродсодержащих отложений, которые могут рассматриваться в качестве нефтематеринских.

В составе отложений силура и девона Щучьинского синклинория выделены три уровня битумсодержащих известняков и один уровень распространения горючих сланцев [1]. Наибольший геологический интерес представляют горючие сланцы среднего девона, характеристика которых в литературе отсутствует. Впервые они были обнаружены в ходе поисково-разведочных работ на бокситы [2], но детально изучены нами.

Разрез эмс-эйфельского возраста, расположенный на юго-западе хребта Янгана-Пэ и включающий горизонт горючих сланцев, имеет следующее строение (снизу вверх):

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

2. Карстовые обломочные известняки (обломки серых известняков от первых до 50 см) со светло-зеленым бокситовым матриксом (преобладают обломки). ... 0.5–6 м.

3. Перемытые алевроито-, 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.

... Видимая мощность около 2 м.

5. Невскрытый интервал (по мощности около 5 м) и соответствующий, по-видимому, глубоко размытой части слоя горючих сланцев, имеющих на этом участке геологического разреза крутое падение и, судя по элювиальным обломкам, углеродисто-карбонатный и углеродисто-глинистый состав с включениями конкреций и вкрапленности пирита.

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

7. Зеленовато-серые гравелиты и песчаники неясно градационно-слоистые.

... Видимая мощность более 10 м.

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

Горизонт горючих сланцев прослежен по простирацию системой канав на расстояние 350 м. Приведенный разрез начиная со слоя 3 обладает

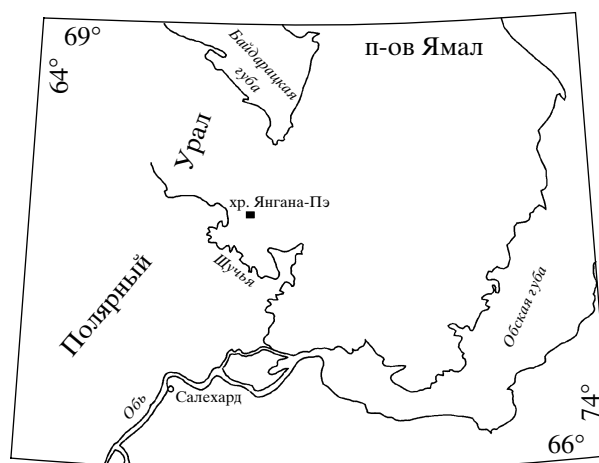


Рис. 1. Местонахождение горючих сланцев.

Институт геологии нефти и газа
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск

резкой фациальной изменчивостью по простиранию. В 3 км к востоку от него в составе отложенных развиты изменчивой мощности слои бокситов обломочного строения, радиоляритов, битумсодержащих комковатых конгломератовидных известняков глубоководного облика, редких углеродистых пород, турбидитов песчано-алевритового состава, переслаивающихся и замещающихся по простиранию олистостромовыми брекчиями, сложенными изометричными обломками известняков, силицитов, вулканитов основного и среднего составов (встречены также редкие крупные олистолиты бокситов). Таким образом, для изученной части разреза характерны как фоновые сравнительно глубоководные осадки, так и турбидитово-олистостромовый комплекс гравититовых отложений.

Горючие сланцы хребта Янгана-Пэ в невыветрелом состоянии обладают коричнево-черной окраской, распадаются на тонкие хрупкие пластинки, которые загораются от открытого огня. Для них характерна 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 уплощенной формы.

В составе горючих сланцев рентгеноструктурным анализом определены бемит, диаспор, каолинит, байерит, гидрослюда, монтмориллонит и смешанослойные минералы, карбонатные минералы отсутствуют. Содержание $S_{\text{орг}}$ изменяется в пяти 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. Содержание SiO_2 варьирует в пределах от 19.9 до 27%. Как и для подстилающих перемытых бокситов, для них характерно высокое содержание TiO_2 (от 1.26 до 1.85%).

По микроэлементному составу горючие сланцы мало чем отличаются от подстилающих их перемытых бокситов. Коэффициенты концентрации (КК) для горючих сланцев, рассчитанные по глинам [3], характеризуются для U, Li, Sc, Hf значениями 2–6, Pb, Cu, Ni, Cr, Th, Ta – 0.9–2, Co, Zn – 0.5–0.9, Sr, Mn, Ba, Rb <0.5 (использовались атомно-абсорбционный и нейтронно-активационный анализы). Наиболее высокие содержания в горючих сланцах характерны для урана (КК от 4 до 6).

Близкие значения содержаний элементов получены и для подстилающих бокситов (КК для бокситов: Cu, Li, Pb – 2–5, V, Zn, Ni, Cr, Co – 0.9–2, Sr, Mn, Ba, Rb <0.5). Таким образом, микроэлементный состав горючих сланцев (за исключением U) обусловлен их силикатной основой, близкой по соотношению породообразующих компонентов к бокситам.

Сравнение содержаний редкоземельных элементов (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, нейтронно-активационный анализ) в горючих сланцах с содержанием их в глинах Русской и Северо-Американской платформ [4] показывает, что для всех перечисленных элементов КК (рассчитанные по глинам платформ) 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 рассеянное 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 ($R_{\text{vt}}^0 = 0.73–0.87\%$) и биомаркерным параметрам, свидетельствует, что они еще не вышли из главной зоны нефтеобразования. Это подтверждается и высоким остаточным нефтегенерационным потенциалом ($HI = 272–282$ 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 пристана к фитану в битумоидах из горючих сланцев в среднем равно 1.89. В составе стеранов битумоидов из горючих сланцев доминируют этилхолестаны (C_{29}). При этом отмечается направленное 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%.

В терпанах битумоидов из горючих сланцев отмечается направленное уменьшение сверху вниз УВ гопапанов ряда от 71.69 до 51.72%. При этом такая направленность сохраняется как для гомопапанов (от 27.75 до 17.09%), так и для фракции норгопаны + гопан C_{30} (от 43.94 до 34.64%). В среднем гомопапанов в 1.81 раз меньше суммы норгопанов и гопана C_{30} . Вторыми по концентрации в терпанах являются трицикланы, содержание которых увеличивается направленно вниз по разрезу от 19.23 до 39.51%. Средняя их концентрация достигает 28.66%. Роль моретанов в терпанах из горючих сланцев близка и составляет в среднем 5.28%. Примерно в таких же незначительных (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 гомопапана (C_{31}) близки. Отношение C_{35}/C_{34} составляет в среднем 0.50. Отношение трисноргопанов Ts/Tm в битумоидах исследуемых сланцев при разбросе 0.23–0.28 в среднем равно 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%) относительных концентраций 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% на сумму трицикланов. Соответственно увеличивается и отношение $(C_{23} - C_{26})/(C_{28} - C_{31})$ – 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%. Отношение $2(C_{19} - C_{20})/(C_{23} - C_{26})$ при среднем 2.52 укладывается в интервал значений 1.62–3.41. Гаммацеран в терпановых фракциях исследуемых битумоидов зафиксирован на уровне 0.95–1.53% при среднем 1.33%.

Палеогеодинамические обстановки формирования девонских отложений Щучьинского синклиория рассмотрены в [1]. По седиментологическим, петрологическим и геохимическим данным, в девоне изучаемая 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 высокого (выше уровня моря) стояния рифовых образований в конце эмса с развитием расчлененного карстового рельефа и формированием карстовых бокситов наступил этап резкого и быстрого опускания территории ниже уровня моря. Это привело, во-первых, к преобладающе-

му развитию на погружающемся островном склоне гравититовых отложений (турбидиты, олистостромы), а во-вторых, к появлению в связи с предшествующим расчлененным карстовым палеорельефом небольших по размерам бассейнов, изолированных от кластических потоков, в которых преобладала планктоногенная и тонко-терригенная фоновая седиментация. Только с этих позиций можно объяснить фациальное замещение по латерали горючих сланцев, радиоляритов, пелитоморфных комковатых битумосодержащих известняков глубоководного облика на олистостромовые брекчии и турбидиты. В эти локальные 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, фитопланктон и развивающиеся по их остаткам в придонной обстановке бактерии [5, 6]. Подобная ассоциация рассматривается в качестве основного продуцента органического вещества и в близком по возрасту девонском доманике Тимано-Печорского бассейна [7] в 500 км к западу от рассматриваемой территории. Наряду с этим в составе органического вещества горючих сланцев присутствуют и мелкие фоссилизированные фрагменты высшей растительности, поступающие вместе с пелитовым бокситовым материалом с погружающейся островной суши. Это нашло отражение в распределении УВ-биомаркеров, которое нетипично (преобладают этилхолестераны в массе стеранов, значения трицикланового индекса $2(C_{19}-C_{20})/(C_{23}-C_{26}) > 1$) для аквагенного органического вещества девонских отложений Западной Сибири [8].

В эволюции рифов островодужной системы Тагильской зоны, Щучьинского синклиория в частности, и распределении органического вещества в осадках устанавливаются вполне определенные закономерности. Периодам быстрого погружения рифовой системы после этапа карстообразования и накопления бокситов отвечает максимальная обогащенность отложений органическим веществом. Она выражается в появлении в хорошо разбуренных разрезах Северо-Уральского бокситоносного района, Лаборовского месторождения Щучьинского синклиория и Карского рудопроявления Полярного Урала углеродистых богатых органическими остатками известняков, а в случае максимального обогащения – горючих сланцев [1, 2, 9, 10].

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 [11]. Твердые и вязкие битумы известны в палеозойских породах из обнажений в бассейне рек Вагран, Сосьва, Тура,

Лобва, Ивдель и др., а в начале 90-х годов была выявлена Маньинская зона нефтебитумопроявлений [12]. Нефтематеринскими породами зоны являются девонские и каменноугольные углеродистые известняки, мергели и аргиллиты.

Выявление высокоуглеродистых пород в палеозойском разрезе восточного склона Полярного Урала, характеристика их нефтегенерационного потенциала и закономерностей распределения 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.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каныгин А.В., Сараев С.В., Бахарев Н.К. и др.* // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 59–78.
2. *Поспелова А.С., Винокуров П.К.* // Сов. геология. 1973. № 7. С. 129–137.
3. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* // Geol. Soc. Amer. Bull. 1961. V. 72. № 2. P. 175–192.
4. *Балашиов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267с.
5. *Петров Ал.А.* Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. 263 с.
6. *Peters K.E., Moldowan J.M.* The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 363 p.
7. *Афанасьева М.С., Михайлова М.В.* // Геология нефти и газа. 1998. № 1. С. 12–21.
8. *Костырева Е.А., Данилова В.П., Меленевский В.Н. и др.* // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 7. С. 1086–1091.
9. *Анцыгин Н.Я.* Путеводитель геологической экскурсии по девонским отложениям Североуральского района. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2003. 27 с.
10. *Боровский В.В., Клопов А.Л., Иващенко А.Е. и др.* // Тр. Зап.-СибНИГНИ. 1976. В. 104. С. 76–86.
11. Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности – новой нефтяной базы СССР/Под ред. Н.Н. Ростовцева, А.А. Трофимука. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. 201 с.
12. *Киркин Э.В., Проворов В.М., Соснин Н.Е.* // Геология нефти и газа. 1997. № 6. С. 10–15.