

УДК 550.8:553.98

ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ ТОЛЩИН В ОТЛОЖЕНИЯХ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕПРЕТАЦИИ ГИС И ГЕОХИМИИ (на примере Салымского месторождения)

М.Б. Скворцов¹, В.Д. Немова¹, А.М. Кирсанов¹, С.В. Можегова¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт. 105118, Россия, г. Москва, шоссе Энтузиастов, 36; e-mail: skvortsov@vnigni.ru, nemova@vnigni.ru, kirsanov@vnigni.ru, mozhegova@vnigni.ru

Аннотация. В статье изложены принципы выделения эффективных нефтенасыщенных толщин на основе комплексной интерпретации ГИС с привлечением результатов геохимических исследований (Rock-Eval).

Ключевые слова. Баженовская свита, нефтенасыщенная толщина, геохимические исследования, катагенз.

THE POSSIBILITY OF SEPARATING OIL-SATURATED THICKNESSES IN THE SEDIMENTS OF THE BAZHENOV FORMATION ON THE BASIS OF INTEGRATED INTERPRETATION OF GIS AND GEOCHEMISTRY (for example, the Salym field)

M.B. Skvortsov¹, V.D. Nemova¹, A.M. Kirsanov¹, S.V. Mozhegova¹

¹ e-mail: skvortsov@vnigni.ru, nemova@vnigni.ru, kirsanov@vnigni.ru, mozhegova@vnigni.ru

Abstract. The article describes the principles of selection of effective oil-saturated thicknesses based on a comprehensive interpretation involving results of the geochemical studies (Rock-Eval).

Key words. Bazhenov formation, nettenity thickness, geochemical studies, catagen.

Несмотря на доказанную промышленную нефтеносность баженовской свиты апробированной методики оценки ресурсов и запасов нефти, содержащейся в ней нет. Это объясняется тем, что применяемый в настоящее время комплекс геофизических исследований исследований в скважинах не позволяет однозначно идентифицировать нефтенасыщенные интервалы, определять их толщину и пористость по данным ГИС. Традиционные методы определения петрофизических параметров пород, обычно используемые для подсчета запасов нефти, не могут быть применены для изучения всего разреза исследуемой толщи из-за разрушения образцов ряда литологических разностей при подъеме керна на дневную поверхность и при исчерпывающей экстракции битумоидов из пород. Из-за слабой изученности особенностей распределения нефти в отложениях рассматриваемого типа для оценки запасов УВ в этих толщах используются временные методики и условно принимаемые расчетные параметры.

Баженовская свита – это поздне-юрские – ранне-меловые (верхне-волжские – валанжинские) нефтематеринские карбонатно-глинисто-кремнистые отложения, аномально обогащенные органическим веществом. Широко распространены в пределах Западной Сибири, наиболее выдержанные свойства характерны для разрезов с содержанием Сорг более 5% и глинистостью – не более 30%. Нижняя граница отложений – абалакская и георгиевская свиты, верхняя граница – существенно глинистые породы фроловской свиты. Предлагаемые подходы не рас-

пространяется на аномальные разрезы баженовской свиты, содержащие песчано-алевритовые прослои.

Разрез баженовской свиты представлен переслаиванием карбонатно-глинисто-кремнистых пород, аномально обогащенных ОВ, и плотных прослоев силицитов, известняков и доломитов с относительно пониженным содержанием ОВ.

Закономерности распределения нефти в баженовской свите определяются начальными концентрациями в породах органического вещества (ОВ) и его катагенетической зрелостью, то есть формирование эффективных коллекторов в породах напрямую связано с процессом катагенетического преобразования ОВ. В связи с этим необходимость привлечения геохимических исследований при оценке ресурсов и запасов баженовской свиты очевидна. Геохимические разрезы, построенные по результатам анализа пород методом Rock-Eval, позволяют четко проследить изменения по разрезу общего содержания ОВ (ТОС) и содержание его различных компонентов – свободных относительно низкомолекулярных УВ (S1, мг УВ/г породы), свободных относительно высокомолекулярных компонентов нефти (S2a) и остаточного генерационного потенциала керогена (S2b, мг УВ/г породы). Величина $S2a = S2$ (до экстракции) – $S2b$ (после экстракции).

Нефтенасыщенные интервалы выделяются по аномально высоким значениям (S1+S2a) (общее содержание свободных УВ) относительно концентрации Сорг и S2. То есть относительно высокое содержание свободных УВ является показателем наличия коллектора (рис. 1).

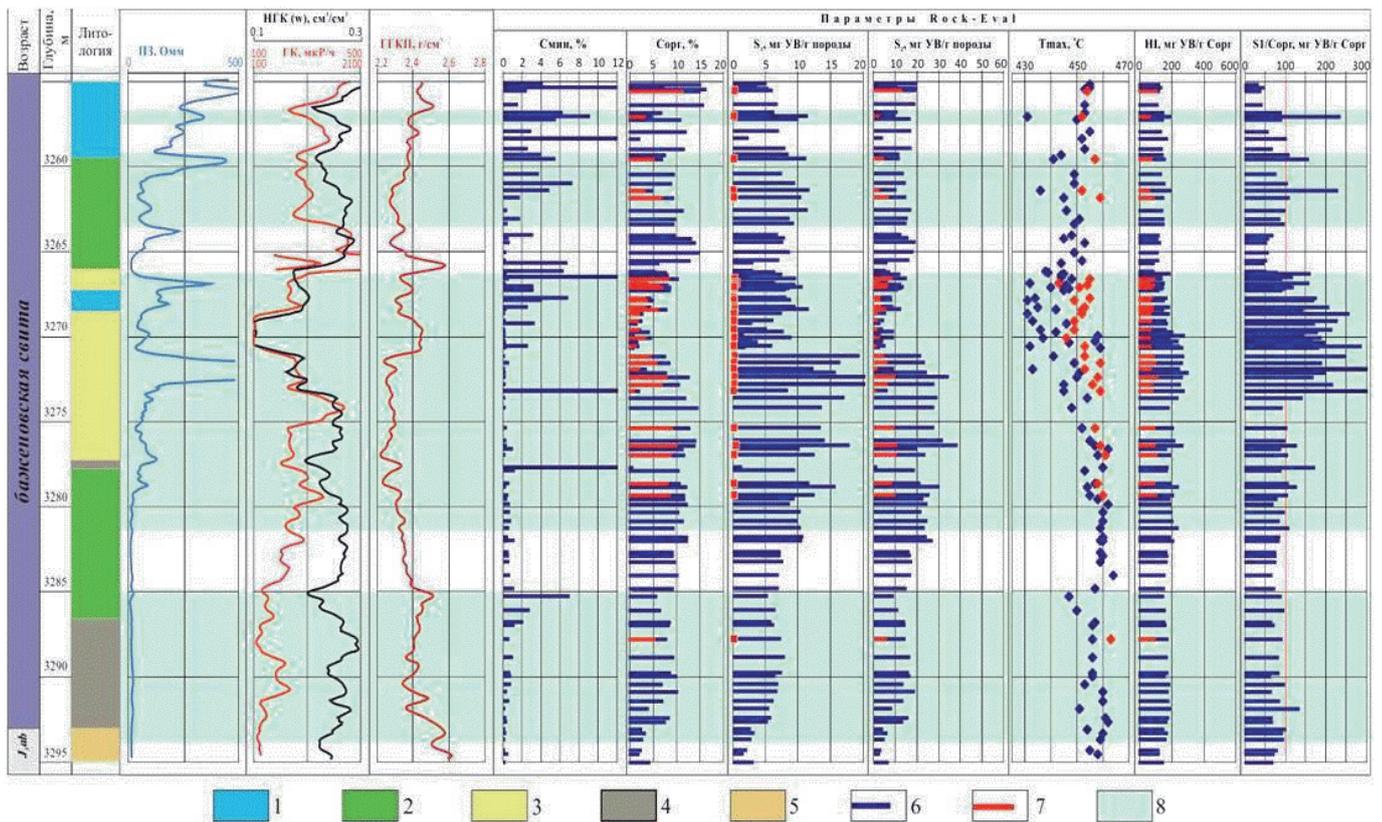


Рис. 1

Геолого-геохимический разрез баженовской свиты скважины Салымского месторождения

1–4 – литологические типы пород:

- 1 – известняки,
- 2 – глинисто-кремнистые высокоуглеродистые породы,
- 3 – радиоляриты доломитизированные,
- 4 – глинисто-кремнистые углеродистые породы;
- 5 – кремнисто-глинистые породы;

6–7 – результаты исследования образцов пород:

- 6 – до экстракции хлороформом,
- 7 – после экстракции;
- 8 – нефтенасыщенные интервалы, выделенные по результатам анализа Rock-Eval

На территориях с высокой степенью катагенетической зрелости ОВ, к которой, например, относится группа месторождений Большого Салыма, доказана практически повсеместная нефтенасыщенность разреза (высокопродуктивных скважин), в то же время на Краснотенинском своде, где степень катагенеза значительно ниже, продуктивны только определенные литотипы баженовской свиты.

В породах баженовской свиты емкость коллекторов может иметь различную природу:

– «минеральную» – поры и трещины расположены между минеральными компонентами породы, в продуктивных отложениях баженовской свиты присутствуют повсеместно;

– органическую – формируется в керогене, по мере развития процессов генерации УВ, ее влияние на емкостные характеристики пород увеличивается с ростом катагенеза ОВ. Исходя из этого, многообразие литотипов баженовских отложений сведено к двум группам, принципиально различающимся физическими свойствами и способностью аккумулировать и отдавать подвижные УВ.

Породы баженовской свиты можно уверенно разделить на две группы, отличающихся физическими свойствами, в частности, хрупкостью.

Первая группа – тонкослоистые высокоуглеродистые, наиболее глинистые породы.

Вторая группа – более плотные, хрупкие, слоистые или массивные породы, зачастую с биоморфной структурой, относительно менее обогащенные глинистыми минералами и Сорг.

На территории с высокой степенью катагенетической зрелости ОВ в эффективные нефтенасыщенные толщины включаются породы с доказанной насыщенностью свободными УВ (т.е. породы, в которых $(S1+S2a)/TOC > 100$ мг УВ/г ТОС или $S1/S2C > 0,2$ и др). Эффективная органическая емкость может присутствовать в любых литотипах, эффективная минеральная – только в литотипах второй группы.

В зонах с более низкой катагенетической зрелостью ОВ определение эффективных нефтенасыщенных толщин сводится к выделению в разрезе склонных к хрупким деформациям литотипов и определению среди них нефтенасыщенных (рис. 2).

Эффективная нефтенасыщенная толщина в отложениях баженовской свиты – это суммарная толщина прослоев коллектора, содержащего подвижные УВ. Ввиду отсутствия пластовых вод в баженовской свите, эффективная нефтенасыщенная толщина будет совпадать с суммарной толщиной коллекторов в разрезе.

Свободные УВ могут находиться только в поровом пространстве. В условиях предельного нефтенасыщения баженовской свиты (Кв принимается

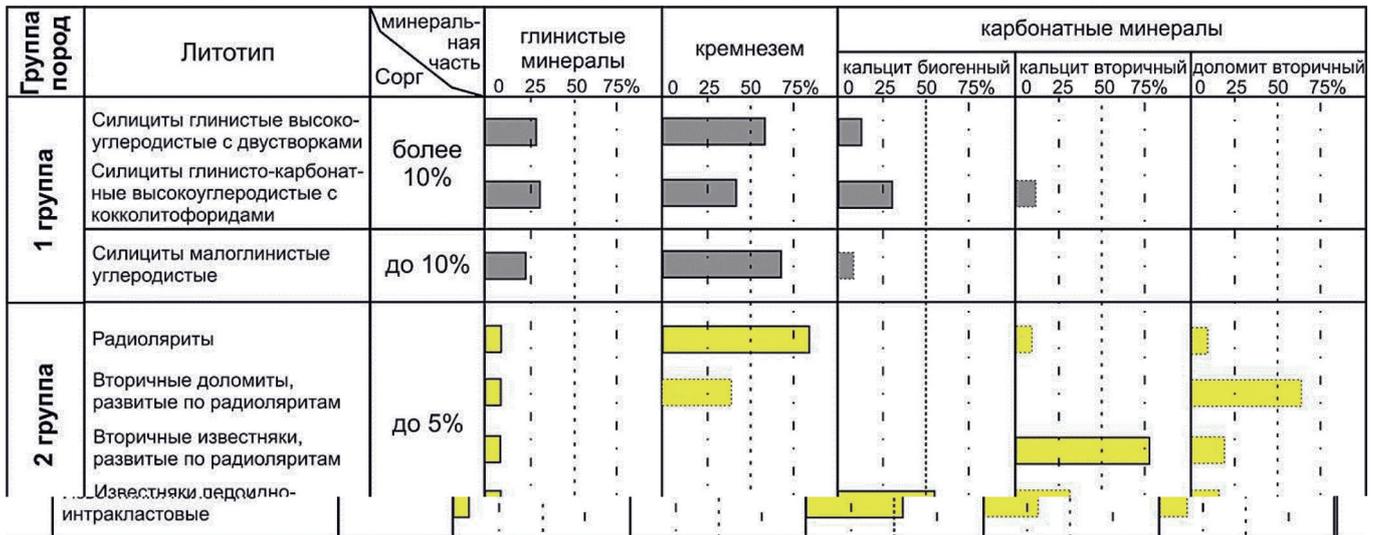


Рис. 2
Схема литологической типизации отложений баженовской свиты (высокоуглеродистой области)

за постоянную величину, близкую (но не равную) нулю), справедливо и обратное – все пустотное пространство, не занятое несвободными углеводородами, занято подвижными и неподвижными:

$$Kп = ((S1+S2a):1000):(\sigma_флюида/\sigma_породы) * П, (1)$$

где:

S1+S2a – объем в породе свободных углеводородов, мг УВ/г породы;

$\sigma_флюида$ – плотность флюида, г/см³;

$\sigma_породы$ – плотность матрицы породы, г/см³;

П – коэффициент потери УВ при подъеме керна;

Kп – объем пор занятых свободными углеводородами, д.е.

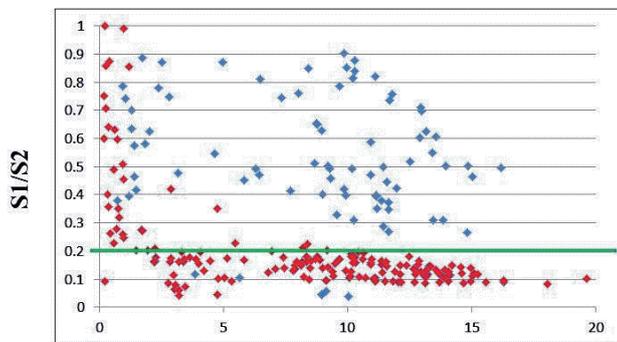
В неприточных интервалах также присутствуют свободные относительно низкомолекулярные и относительно высокомолекулярные УВ. Таким образом, свободные УВ (S1+S2a) содержат в себе подвижную и неподвижную составляющую:

$$S1+S2a =$$

$$f(Vпороды * Kп_дин + Vпороды * Kп_св), (2)$$

где:

S1+S2a – содержание свободных относительно низкомолекулярных и относительновысокомолекулярных УВ, мг УВ/г породы;



Сорг.

Рис. 3

Графическое определение граничного значения параметра S1/S2 по результатам испытаний

Красные точки – образцы, отобранные из «сухих» скважин
Синие точки – образцы из приточных скважин

Vпороды – объем породы;

Kп_дин – объем свободных подвижных углеводородов, д.е.;

Kп_св – объем свободных неподвижных углеводородов, д.е.

Наличие в породе свободных неподвижных углеводородов не позволяет выделить в эффективные толщины все интервалы с (S1+S2a) больше нуля. Граничное значение определяется графически – отношением сгенерированного свободного УВ (S1+S2a) к генерационному потенциалу (S2). По данным анализа пород методом Rock-Eval и сопоставления результатов с испытаниями большого числа скважин, определено граничное значение для выделения приточных интервалов. Потенциальные интервалы притоков УВ в разрезе баженовской свиты маркируют образцы, в которых соотношение S1/S2 выше 0,2 (рис. 3).

Для выделения эффективных толщин и расчета Kп в интервалах не охарактеризованных керном геохимические параметры можно спрогнозировать по каротажным характеристикам.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) пласта зависит от литологии (структуры порового пространства и состава пород), пористости, занятой флюидами (Kп), соотношением в поре объема воды и УВ (Kв) и сопротивления пластовой воды (Rw). Теоретически это можно проиллюстрировать через уравнение Арчи-Дахнова:

$$Kп = m \sqrt{\frac{a * b * R_w}{R * Kв^n}}, (3)$$

где:

Rw – сопротивление пластовой воды, константа (в рамках единых минерализаций и термобарических условий)

a, b, m, n – коэффициенты, описывающие структуру и состав пород, постоянные в рамках одного литотипа

R – удельное электрическое сопротивление, ом

Kв – водонасыщенность в интервале баженовской свиты принимается за постоянную величину, близкую (но не равную) нулю.

Таким образом, все параметры, кроме K_{Π} и УЭС, либо постоянны, либо близки по величине:

$$K_{\Pi} = \text{const} \sqrt{\frac{\text{const}}{R \cdot \text{const}}} \quad (4)$$

или:

$$K_{\Pi} = f(R). \quad (5)$$

Из связей между K_{Π} и $(S1+S2a)$, полученных выше (1) и (2) и уравнения (5) следует:

$$(S1+S2a)=f(R). \quad (6)$$

Уверенная связь геохимических параметров $S1 + S2a$ и УЭС по ГИС наблюдается в интервале всего разреза баженовской свиты в скважинах с высокой степенью катагенетической зрелости ОВ (рис. 4). В зонах более низкой катагенетической зрелости качество связей ухудшается.

Общезвестным фактом является наличие аномальной радиоактивности в интервале баженовской свиты. Анализ результатов спектрометрических замеров гамма активности (СГК) показали значительные концентрации урановой составляющей. Наличие урановых аномалий, не пропорциональных содержанию калия и тория, характерны для обогащенных радиоактивными минералами или органикой

интервалов. Результаты изучения шлифов показали отсутствие (или незначительную концентрацию) аномальных радиоактивных минералов.

Таким образом, радиоактивность в баженовской свите 2-компонентная – глинистая и органическая. Вклад гамма-излучения остальными компонентами незначителен.

Сама по себе нефть нерадиоактивна. Значит, ни свободные относительно низкомолекулярные углеводороды ($S1$), ни свободные относительно высокомолекулярные углеводороды и сопутствующие им компоненты нефти ($S2a$) радиоактивны не будут.

$$U = f(U_{\text{орг}} \cdot (\text{ТОС} - (S1+S2a)) + U_{\text{гл}} \cdot K_{\text{гл}}), \quad (7)$$

где:

ТОС – общее содержание органического вещества, мг УВ/г

$S1+S2a$ – содержание свободных относительно низкомолекулярных и относительно высокомолекулярных УВ, мг УВ/г породы

U – спектр радиоактивности урана, ppm

U_{гл} – радиоактивность глины по урану, ppm

U_{орг} – радиоактивность

K_{гл} – коэффициент глинистости (объемная глинистость), д.е.

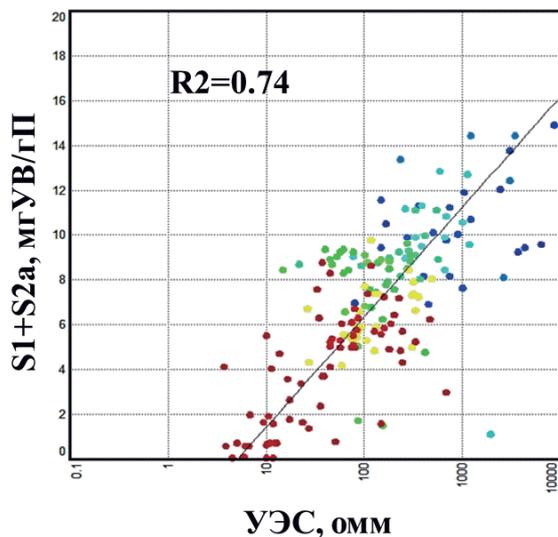


Рис. 4.

Пример связи геохимического параметра $S1 + S2a$ и удельного электрического сопротивления (УЭС) по ГИС в интервале баженовской свиты по скважинам Большого Салыма (высокая степень катагенетической зрелости ОВ)

- Тонкое переслаивание карбонатно-кремнистых пород и известняков
- Глинисто-карбонатно-кремнистые породы, пиритизированные, с высоким содержанием керогена
- Керогеново-глинисто-кремнистые породы с двустворками
- Образцы из нелитотипизированных скважин с высоким дебитом
- Радиолариты
- Переслаивание глинисто-кремнистых пород с радиоларитами
- Карбонатные породы: доломиты и известняки
- Образцы из нелитотипизированных скважин с низким дебитом

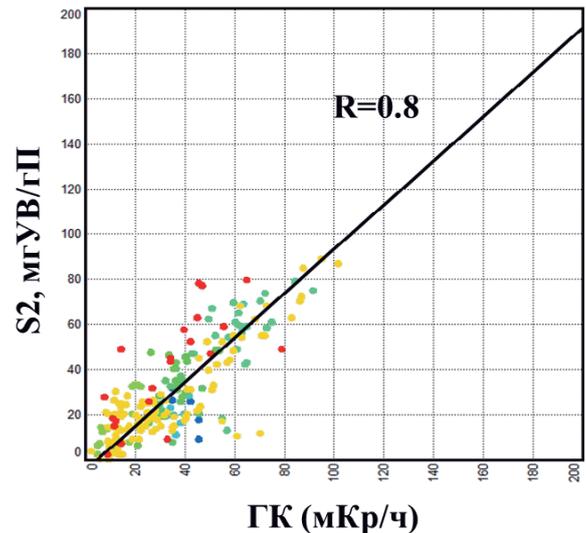


Рис. 5

Пример связи геохимического параметра $S2$ и естественной радиоактивности по ГИС в интервале баженовской свиты по скважинам Большого Салыма (высокая степень катагенетической зрелости ОВ)

- Тонкое переслаивание карбонатно-кремнистых пород и известняков
- Глинисто-карбонатно-кремнистые породы, пиритизированные, с высоким содержанием керогена
- Керогеново-глинисто-кремнистые породы с двустворками
- Образцы из нелитотипизированных скважин с высоким дебитом
- Радиолариты
- Переслаивание глинисто-кремнистых пород с радиоларитами
- Карбонатные породы: доломиты и известняки
- Образцы из нелитотипизированных скважин с низким дебитом

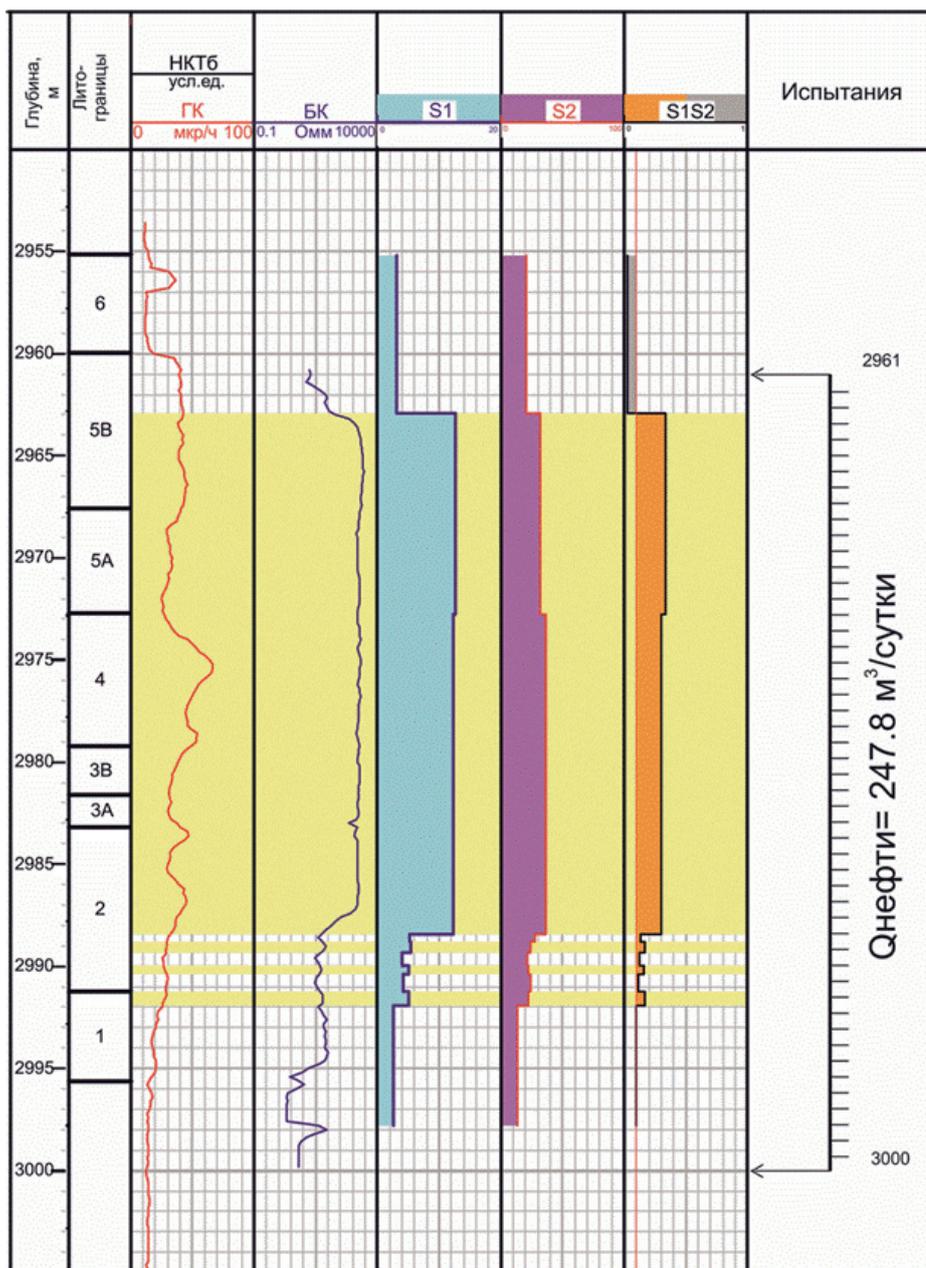


Рис. 6
Пример выделения эффективных нефтенасыщенных толщин по данным ГИС в скважине с высоким дебитом
■ интервал коллектора

Доказанная многими авторами уверенная связь между параметрами S2 и ТОС позволяет устанавливать корреляционные связи между радиоактивностью и S2. А в случае низкой глинистости и повышенного насыщения пород ОВ допускается использование интегральной характеристики радиоактивности (ГК) (рис. 5)

На рисунках 6 и 7 приведены сопоставления результатов комплексной интерпретации геохимических исследований и ГИС с результатами испытания скважин.

В заключении следует отметить, необходимость привлечения геохимических исследований при выделении нефтенасыщенных интервалов в отложениях баженовской свиты. Установленные связи между содержанием свободных УВ (параметр S1) и сопротивлением пласта, остаточного генерационного потенциала керогена (параметр S2) с ГК, позволяют выделять эффективные нефтенасыщенные толщины по ГИС, в скважинах с ограниченным комплексом,

особенно «старого» фонда. Предложенные методологические подходы по определению нефтенасыщенной толщины, могут быть положены в основу методики подсчета запасов и оценки ресурсов в отложениях баженовской свиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немова В.Д., Асташкин Д.А., Гаврилов С.С. Методические наработки в области комплексных литолого-петрофизических исследований керна отложений баженовской свиты // Геология нефти и газа, № 2, 2013. С. 38–46.
2. Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения и ГИС // Геология нефти и газа, № 6, 2016. С. 22–34.
3. Скворцов М.Б., Дахнова М.В., Можегова С.В., Курсанов А.М., Комков И.К., Пайзанская И.Л. Роль геохимических методов в прогнозе нефтеносности и оценке ресурсного потенциала черносланцевых толщ (на примере баженовской свиты). Новосибирск. Геология и Геофизика 2017. № 3.

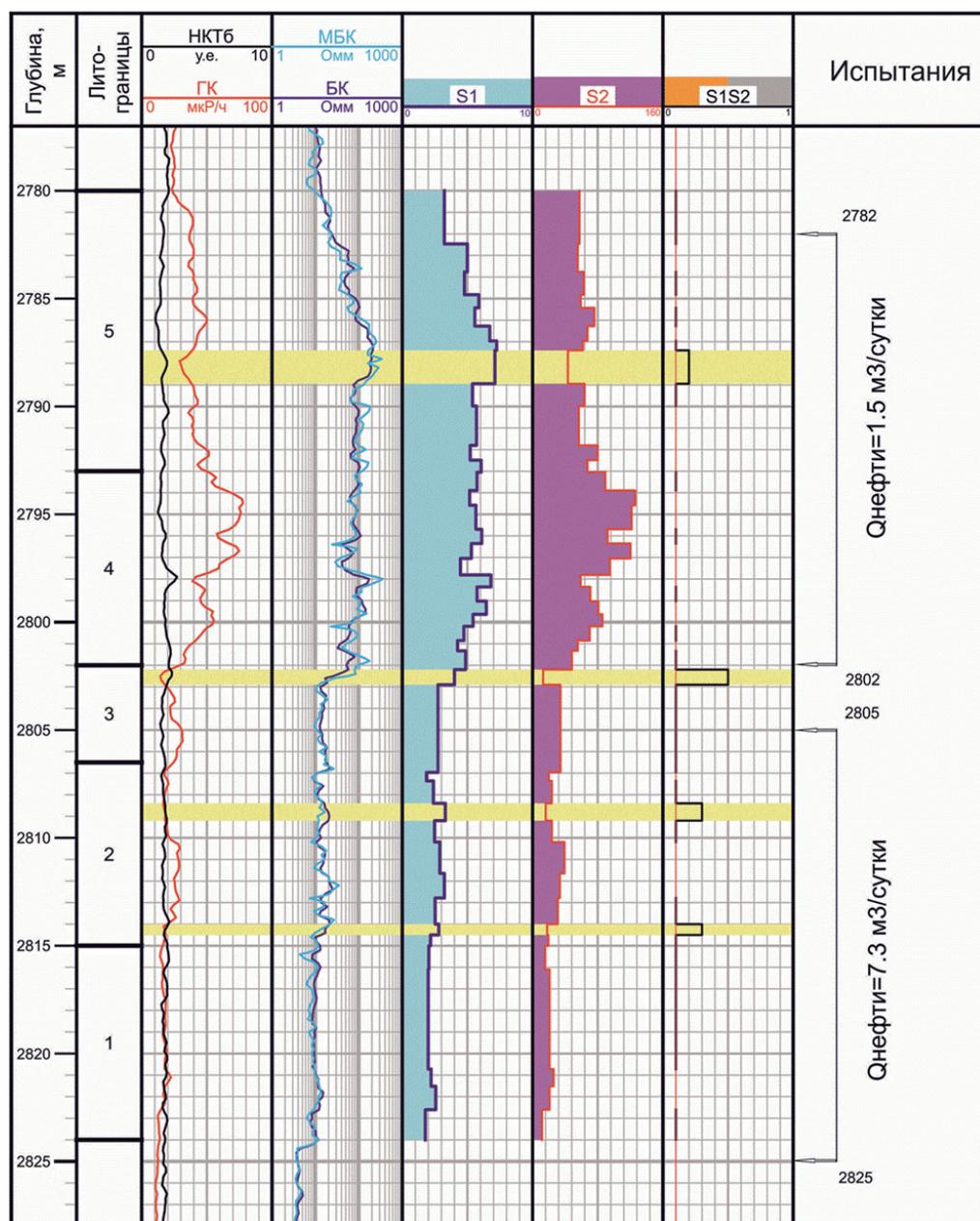


Рис. 7
Пример выделения эффективных нефтенасыщенных толщин по данным ГИС в скважине с низким дебитом
интервал коллектора

4. Сурова Н.Д., Скворцов М.Б., Кузнецов Г.В., Копилевич Е.А. Возможности прогнозирования продуктивных зон базеновской свиты по анализу спектрально-временных атрибутов. Геофизика, 2016, № 1. С. 81–90.

REFERENCES

1. Nemova VD, Astashkin DA, Gavrilov SS. Metodicheskie narabotki v oblasti kompleksnyh litologo-petrofizicheskikh issledovanij kerna otlozhenij bazhenovskoj svity [Methodical developments in the field of complex lithologic-petrophysical studies of the core of the deposits of the Bazhenov suite] // Geologija nefiti i gaza, № 2, 2013. S. 38–46. (in Russian).

2. Panchenko IV, Nemova VD, Smirnova ME, Il'ina MV, Baraboshkin EJu., V.S. Il'in Stratifikacija i detal'naja korrelyacija bazhenovskogo gorizonta v central'noj chasti Zapadnoj Sibiri po dannym litologo-paleontologicheskogo izuchenija i GIS [Stratification and detailed correlation of the Bazhenov horizon in the central part of Western Siberia according to the lithological-pa-

leontological study and GIS data] // Geologija nefiti i gaza, № 6, 2016. S. 22–34 (in Russian).

3. Skvorcov MB, Dahnova MV, Mozhegova SV, Kirsanov AM, Komkov IK, Pajzanskaja IL. Rol' geohimicheskikh metodov v prognoze neftenosnosti i ocenke resurnogo potenciala chernoslancevyh tolshh (na primere bazhenovskoj svity) [The role of geochemical methods in forecasting the oil content and estimating the resource potential of black shale strata (on the example of the Bazhenov suite)]. Novosibirsk. Geologija i Geofizika 2017. № 3 (in Russian).

4. Surova ND, Skvorcov MB, Kuznecov GV, Kopilevich EA. Vozmozhnosti prognozirovaniya produktivnyh zon bazhenovskoj svity po analizu spektral'no-vremennyh atributov [Possibilities for predicting the productive zones of the Bazhenov suite from the analysis of spectral-temporal attributes]. Geofizika, 2016, № 1. S. 81–90 (in Russian).

Рецензия от 17.08.2017

Решение редколлегии о публикации от 30.12.2017

ОБ АВТОРАХ



СКВОРЦОВ
Михаил Борисович

Окончил в 1979 г. МИНХиГП им. И.М. Губкина, горный инженер-геолог. Заведующий отделом поисков месторождений нефти и газа ФГУП «ВНИГНИ», кандидат технических наук. Научные интересы – геологоразведочные работы, нетрадиционные коллекторы. Автор порядка 15 научных публикаций.



НЕМОВА
Варвара Дмитриевна

Окончила в 2006 г. МГУ им. М.В.Ломоносова, геолог. Заведующий сектором исследований продуктивности сланцевых формаций ФГУП «ВНИГНИ», кандидат геолого-минералогических наук. Научные интересы – геологоразведочные работы, нетрадиционные коллекторы. Автор порядка 40 научных публикаций.



КИРСАНОВ
Алексей Михайлович

Окончил в 2011 г. РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, горный инженер-геофизик. Заведующий сектором интерпретации данных ГИС ФГБУ «ВНИГНИ». Научные интересы – физика горных пород, сложные и нетрадиционные коллекторы.



МОЖЕГОВА
Светлана Васильевна

Окончила в 2000 г. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, инженер по специальности Геология нефти и газа. Старший научный сотрудник отдела Геохимических методов прогноза нефтегазонасыщенности ФГБУ «ВНИГНИ». Научные интересы – геохимия органического вещества, генерационно-аккумуляционные углеводородные системы, нетрадиционные коллекторы. Автор 26 научных публикаций.