

*Р. М. Саитов<sup>1,2\*</sup>, М. А. Фомин<sup>1</sup>, А. Г. Замирайлова<sup>1</sup>, И. С. Сотнич<sup>1</sup>*

## **Обоснование интервала-коллектора в разрезах баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы (Западная Сибирь)**

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Геологика», г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: SaitovRM@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** На основе новых результатов аналитических исследований керн был выделен и обоснован интервал-коллектор баженовской свиты в разрезах четырех скважин Малобалькского месторождения и соседних площадей. Установлено, что продуктивность этих отложений может быть связана с высококремнистым, малоглинистым интервалом в центральной части свиты, обладающим повышенными значениями пористости и низкими содержаниями пирита и органического вещества, в котором зафиксировано увеличенное содержание свободных углеводородов. Подробные петрографические исследования образцов керн и последующих их сравнительный анализ позволил установить, что увеличение пустотного пространства образцов с наилучшими емкостными свойствами связано с радиолариями, пустотное пространство которых не заполнено минеральными компонентами и органическим веществом. Показано, что продуктивность свиты в скважинах, находящихся в пределах перспективных с точки зрения нефтеносности баженовских отложений территорий и расположенных в нескольких десятках километров друг от друга, может сильно отличаться. На примере изученных разрезов обосновано, что на основе стандартных методов геофизических исследований скважин невозможно сделать вывод о наличии в разрезе той или иной скважины интервала-коллектора.

**Ключевые слова:** баженовская свита, коллектор, пористость, керн, ГИС

*R. M. Saitov<sup>1,2\*</sup>, M. A. Fomin<sup>1</sup>, A. G. Zamirailova<sup>1</sup>, I. S. Sotnich<sup>1</sup>*

## **Justification of the reservoir interval in the sections of the Bazhenov formation in the Malobalykская area**

<sup>1</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,  
Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC «Geologika», Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: SaitovRM@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** On the basis of new results of analytical studies of the core, the reservoir interval of the Bazhenov formation was identified and substantiated in the sections of four wells of the Malobalykская area. It has been established that productivity can be associated with a high-siliceous, low-clay interval in the central part of the formation, which has increased porosity and low contents of pyrite and organic matter, in which an increased content of free hydrocarbons is recorded. Detailed petrographic studies of core samples and their subsequent comparative analysis made it possible to establish that an increase in the void space of samples with the best capacitive properties is associated with radiolarians, whose void space is not filled with mineral components and organic matter. It is shown that the productivity of the formation in wells located within the promising areas in terms of oil content of the Bazhenov deposits and located several tens of kilometers from each other can vary greatly. On the example of the studied sections, it is substantiated that, based on standard methods of well logging, it is impossible to conclude that there is a reservoir interval in the well section.

**Keywords:** Bazhenov formation, reservoir, porosity, core, well-logging data.

### ***Введение***

Снижение темпов прироста запасов и добычи углеводородного сырья за счет открытия новых залежей нефти и газа в гранулярных коллекторах юрского и мелового возраста привлекло внимание геологов и нефтяников к нетрадиционному сложно построенному уникальному природному объекту –баженовской свите. Она является основной нефтематеринской толщей Западно-Сибирского осадочного бассейна. При этом в его центральной части баженовская свита является самостоятельным перспективным объектом для поисков и добычи нефти. В то же время существенной особенностью карбонатно-глинисто-кремнистых баженовских отложений является неоднородность их минерально-компонентного состава как по разрезу, так и по площади. Разрезы, находящиеся друг от друга на расстоянии нескольких десятков километров, могут быть существенно различными, что обусловлено особенностями седиментации и постседиментационных преобразований пород. Все это затрудняет прогноз нефтеносности этих отложений и подсчет в них запасов нефти иногда даже в пределах одной площади. В связи с этим, выделение и обоснование интервалов коллекторов в разрезах баженовской свиты на основе современных аналитических методов является актуальным исследованием.

### ***Фактический материал и методы исследования***

В рамках работы выполнено подробное аналитическое исследование баженовской свиты в разрезе четырех близкорасположенных скважин на Малобалыкском месторождении и соседних площадях (рис. 1). В качестве фактического материала были использованы 317 образцов керна для аналитических исследований, а также геолого-промысловая информация, включающая в себя, данные по увязке керна, инклинометрию, результаты испытаний на приток, данные о пластовых условиях и методы геофизических исследований скважин (рис. 2).

Лабораторные определения пористости образцов керна, выполнялись в соответствии с методикой GRI, модифицированной для высокоуглеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых образцов баженовской свиты [1]. Для изучения компонентного состава пород был проведен рентгено-флуоресцентный анализ и определения форм железа и серы образцов (метод «мокрой химии»). Определение количества свободных углеводородов, общего содержания органического углерода, а также зрелости органического вещества с последующей оценкой потенциала образцов на нефть проводилось на основе метода пиролиза. Уточнение химического состава пород, формы нахождения минералов, включений, реликтов живых организмов, а также определением микроструктуры образцов производилось на основе сканирующей электронной микроскопии. Изучение структурно-минералогических особенностей пород осуществлялось методом поляризационной микроскопии. Широкое комплексирование методов определяется спецификой полиминерального состава, сильной изменчивостью литологического состава, тонкой структурой пород баженовской свиты и является необхо-

димым, поскольку по отдельности ни один из методов не дает полного и объективного представления о свойствах пород.

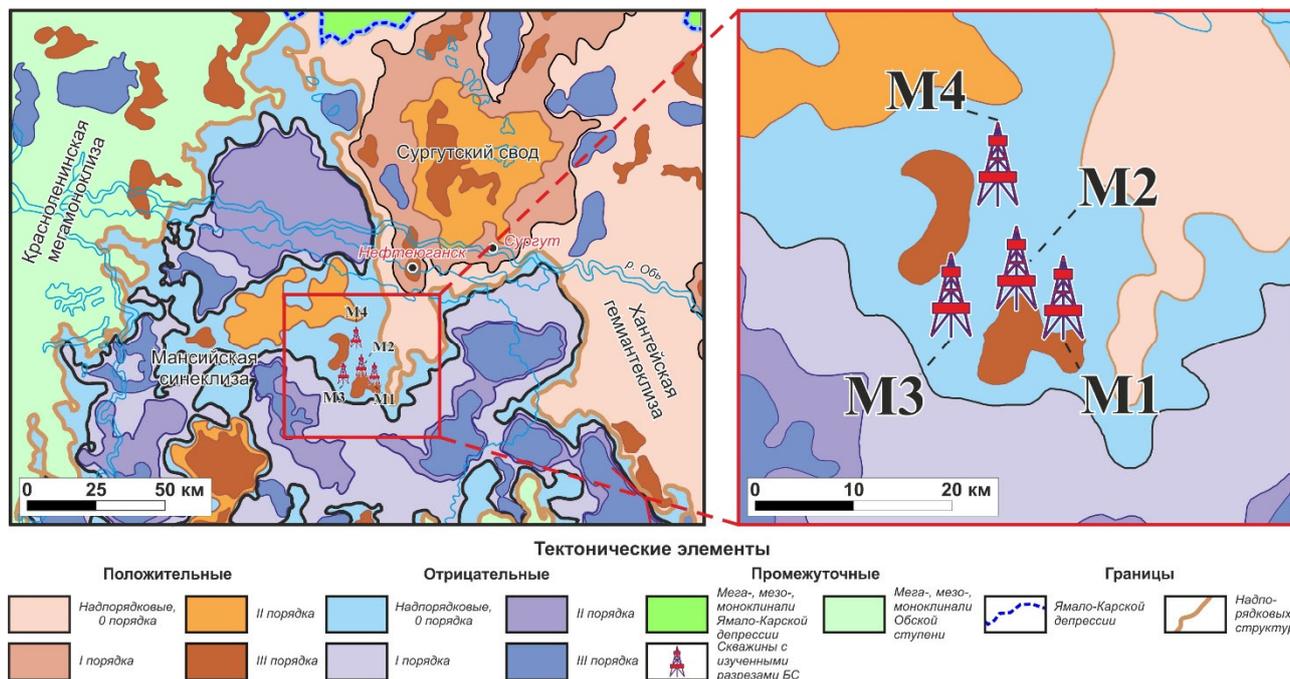


Рис. 1. Фрагмент тектонической карты Западно-Сибирской геосинеклизы по кровле юрского структурного яруса и скважины с изученными разрезами баженовской свиты

### *Нефтеносность баженовской свиты*

Изучение нефтеносности баженовской свиты проводится уже более шестидесяти лет. Практически сразу для многих исследователей стало очевидно, что эти отложения являются главной нефтематеринской толщей всего Западно-Сибирского осадочного бассейна. Немаловажным стало предположение Ф.Г. Гурари (1961) о возможной нефтеносности баженовской свиты и последующее его подтверждение в 1964 году на территории Правдинской нефтегазоразведочной экспедиции и позднее на других площадях. Открытие притоков баженовской нефти побудило повышенный интерес геологов-нефтяников к этому уникальному природному объекту.

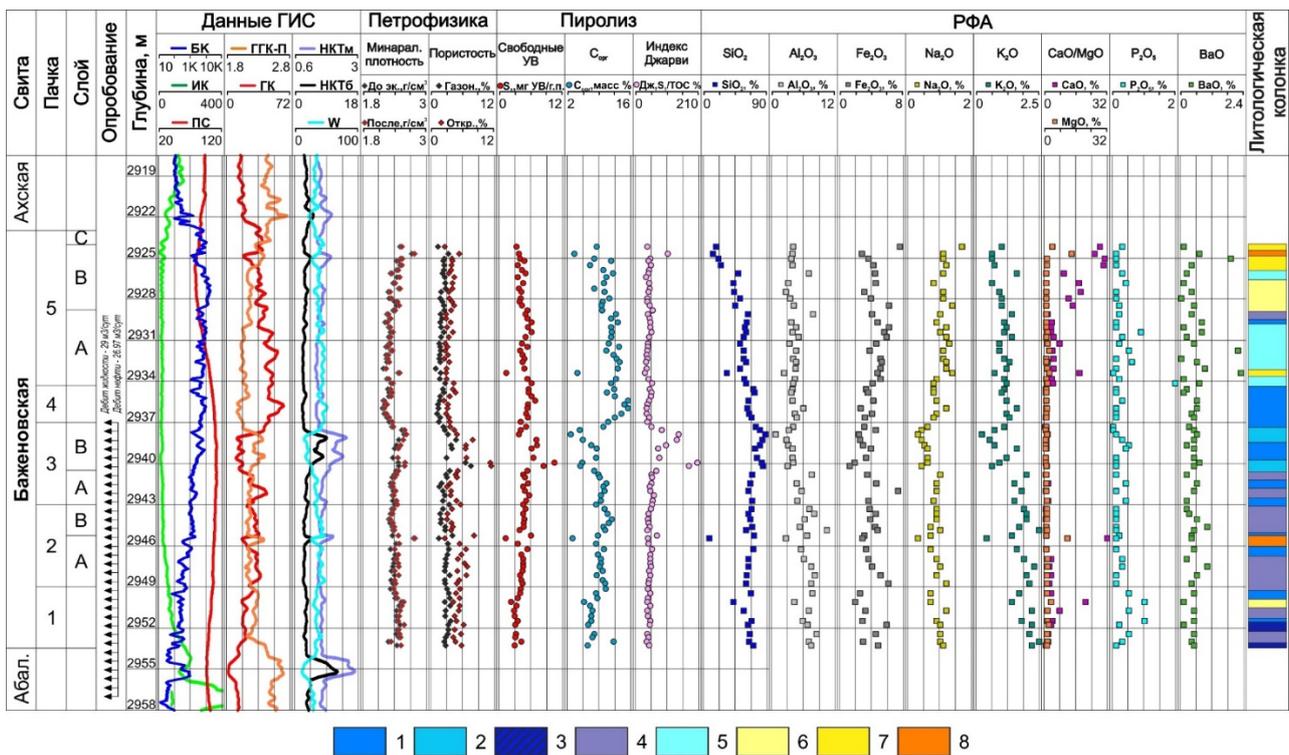


Рис. 2. Геолого-геофизический планшет разреза скважины №1 Малобалыкской площади. Условные обозначения: 1 - силицит керогеновый; 2 – силицит; 3 – микстит глинисто-кремнистый; 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый; 5 – микстит кероген-кремнистый; 6 – микстит кероген-карбонатно-кремнистый; 7 – известняк; 8 – доломит (название пород согласно классификации Конторовича А.Э. с соавторами [2]).

За время изучения свиты исследователями были выработаны геологические критерии, влияющие на ее нефтеносность. Они использовались для выделения наиболее перспективных зон для поиска в ней нефти. В разное время рассматривались следующие критерии: общее содержание органического углерода, его зрелость, пластовые температура и давление, толщины баженовской свиты, а также подстилающего и перекрывающего флюидоупоров. Так, высокое содержание органического углерода и достаточная его зрелость, зачастую коррелирующая с пластовыми температурами, обуславливают большие объемы генерируемых углеводородов, а хорошая изолированность выше- и нижележащими флюидоупорами должна препятствовать миграции углеводородов и исчезновению залежей. В некоторых работах исследователи отмечали anomalно высокое пластовое давление и повышенные значения электрического сопротивления, однако эти факторы являются следствием, а не причиной образования нефтяных залежей.

Согласно полученным в ходе аналитических исследований данным, содержание органического углерода в изученных скважинах варьируется от 1.72 до 29.14% (табл. 1). Баженовская свита в разрезах изученных скважин находится в главной зоне нефтеобразования, зрелость содержащегося в ней органического вещества от

скважины к скважине незначительно отличается. Пластовые температуры для большинства изученных скважин превышают 100 °С, а пластовые давления не являются аномально высокими. Толщины свиты сравнительно выдержаны и изменяются от 25 до 33 м. Баженовские отложения хорошо изолированы от верхневасюганских и ачимовских песчаников: мощность выше- и нижележащих флюидоупоров превышает 16 метров (табл. 1). Некоторые исследователи указывают на связь глубины залегания свиты и значения литостатического давления на ее емкостные свойства, что также может влиять на ее продуктивность (табл. 1).

Таблица 1

Значение основных критериев нефтеносности баженовской свиты

	<i>M-1</i>	<i>M-2*</i>	<i>M-3*</i>	<i>M-4*</i>
<i>Сорг, % масс</i>	<u>2.49 – 15.53</u> 9.59	1.72-21.41	4.22-13.55	3.09-29.14
<i>Зрелость ОВ R<sub>0</sub>, %</i>	0.79	0.73	0.78	0.69
<i>T<sub>пл</sub>, °С</i>	109	103	111	85
<i>P<sub>пл</sub>, МПа</i>	323	327	321	-
<i>Открытая пористость, %</i>	<u>2.38 – 11.34</u> 4.44	0.64-5.71	2.39-8.46	3.14-7.51
<i>Толщина свиты</i>	30.5	25	30.3	33
<i>Толщина перекрывающего флюидоупора</i>	23	19	21	16
<i>Толщина подстилающего флюидоупора</i>	> 30	> 30	> 30	> 30
<i>Глубина залегания кровли (абс.), м</i>	2733	2871	2805	2741
<i>Глубина залегания кровли (отн.), м</i>	2900	3010	2944	2880

\* - значения представлены для изученных частей разрезов баженовской свиты

Таким образом, рассмотренные в этой работе разрезы скважин, согласно описанным выше общегеологическим критериям, а также опубликованным материалам [3], расположены в пределах наиболее перспективных с точки зрения нефтеносности баженовских отложений территорий. Однако несмотря на это, промышленный приток нефти был получен из интервала свиты лишь в скважине М-1 Малобалыкской площади. Факт того, что локализация приточных скважин не всегда обусловлена ранее описанными критериями нефтеносности, был установлен еще на первых этапах изучения свиты. А продуктивность скважин, находящихся в перспективных зонах, но при этом находящихся в нескольких десятках километров друг от друга, может значительно отличаться.

## *Выделение и обоснование интервала-коллектора*

Выделение продуктивного интервала баженовской свиты в разрезе скважины №1 Малобалыкской площади осуществлялось на основе основных характеристик коллектора согласно методическим рекомендациям по подсчету запасов нефти в баженовских отложениях [4]: повышенные значения пористости, превышающие фоновые; наличие подвижной нефти; пониженное содержание глин, ОВ и пирита; повышенное содержание кремнистой составляющей в породах.

Комплексный анализ результатов исследований показал, что наличие подвижной нефти отмечено в центральной части баженовской свиты в разрезе скважины №1 Малобалыкской площади, а увеличенные значения индекса Джарви могут являться признаком промышленной нефтеносности (рис. 2). На основе петрофизических исследований в этом интервале были зафиксированы повышенные относительно фоновых значения газонасыщенной и открытой пористости (рис. 2). Результаты РФА показали максимальные для свиты содержание кремнистой компоненты, а также пониженные содержания  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$  и  $FeO$  (рис. 2), что свидетельствует о низких концентрациях глинистых минералов, полевого шпата и пирита, которые уменьшают фильтрационно-ёмкостные свойства [4]. Также интервалу соответствуют минимальные значения содержания органического вещества. По результатам петрографических исследований было установлено, что интервал-коллектор представлен силицитом-радиоляритом. О связи наличия в образцах радиолярий с интервалом коллектором писали многие исследователи [5, 6]. Совокупность перечисленных факторов доказывают наличие интервала-коллектора в интервале баженовской свиты в разрезе скважины №1 Малобалыкской площади.

Подробное изучение образцов с максимальными значениями открытой пористости (11.2 и 11.3 % по результатам петрофизических исследований) в шлифах позволило установить в них наличие скелетов радиолярий (до 30 %), не заполненных минеральными компонентами, а также керогеном (рис. 3). При этом в образцах наблюдается лишь кремнистый контур скелетов радиолярий, в то время как его центральная «пористая» часть как правило отсутствует. Данный факт может быть связан с частичным выщелачиванием кремнезема щелочными растворами, образовавшимися в начале катагенеза в процессе дегидратации глинистых минералов [6].

Повышенное содержание кремнезема и пониженные концентрации глинистых минералов, пирита и органического вещества также отмечены в центральной части баженовской свиты в скважинах М-2, М-3 и М-4. Однако здесь отсутствует увеличение пиролитического параметра  $S_1$  и значений газонасыщенной и открытой пористости, а также наличие промышленных притоков нефти. В этой части разреза зафиксированы образцы, представленные кремнистыми породами с различным количеством скелетов радиолярий (до 90 %). Однако здесь радиолярии, как правило раскристаллизованы, а пустоты заполнены глинисто-кремнистым или реже органическим веществом. В данном случае вторичные изменения

пород способствовали ухудшению емкостных свойств в изученных разрезах. Вторичные преобразования в радиоляритовых слоях способствовали практически полному исчезновению емкостных свойств (рис. 4).

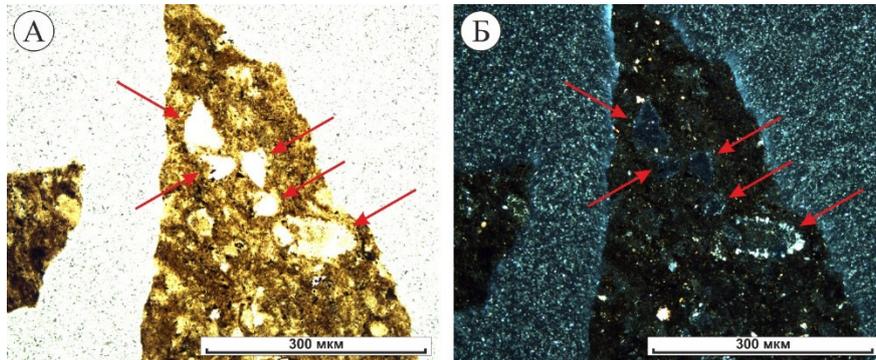


Рис. 3. Пустотное пространство в образце интервала-коллектора после экстракции, представленное незаполненными минеральными компонентами и органическим веществом скелетами радиолярий ( $\text{SiO}_2$  84.9 %, ОВ 4.7 %,  $\text{K}_{\text{п.о.}}$  11.3 %): а – николи параллельны; б – николи скрещены.

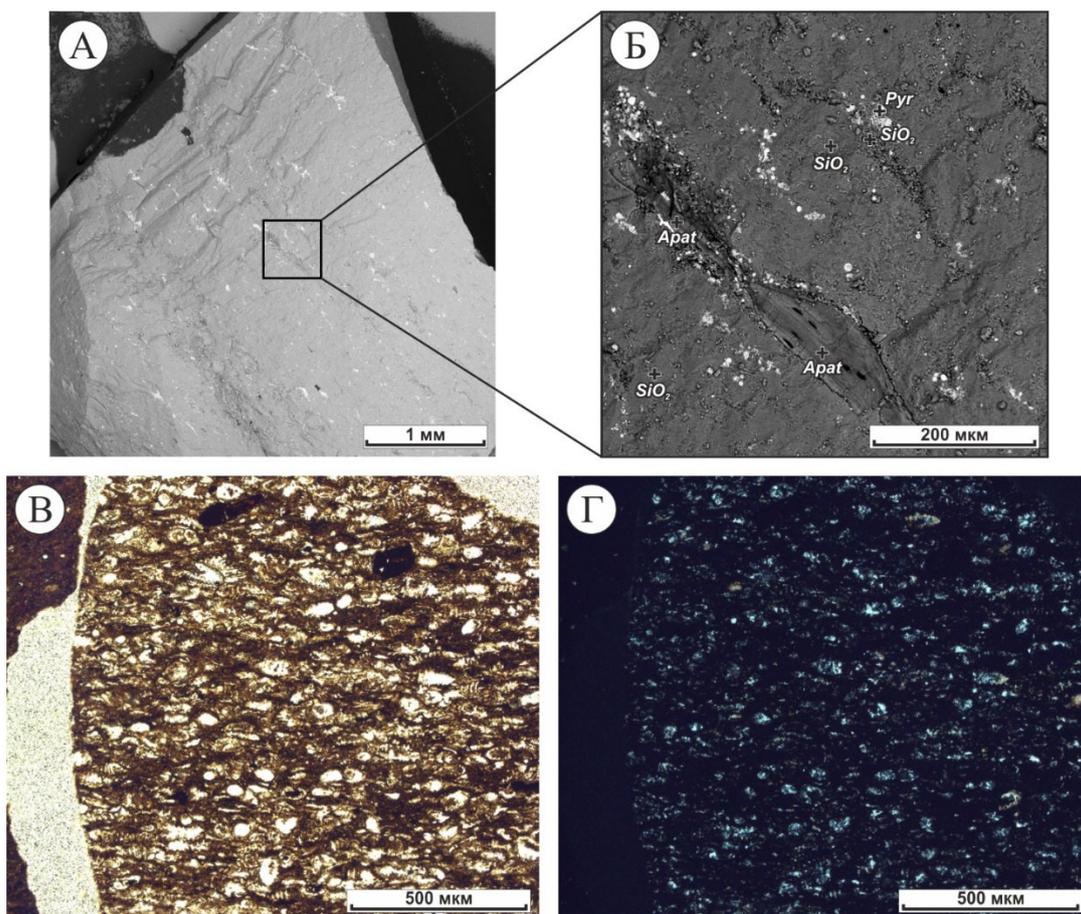


Рис. 4. Радиолярии: а, б – практически полностью раскристаллизованные ( $\text{SiO}_2$  90.3%, ОВ 2.7%,  $\text{K}_{\text{п.о.}}$  0.6%); в, г - раскристаллизованные, а также заполненные глинисто-кремнистым веществом ( $\text{SiO}_2$  82.3 %, ОВ 4.9 %,  $\text{K}_{\text{п.о.}}$  3.0 %) (в – николи параллельны; г – николи скрещены).

По данным геофизических исследований во всех изученных разрезах интервала-коллектору, выделенному в скважине М-1, соответствует увеличение объемной плотности и уменьшение естественной радиоактивности. Значения нейтронного каротажа по тепловым нейтронам (большой и малый зонды) увеличиваются, а водородосодержания – уменьшаются (рис. 2). Скорости прохождения акустических волн в данном интервале увеличиваются. В некоторых скважинах в верхней части рассмотренного в данной работе интервала-коллектора отмечается незначительное увеличение значений ИК. Таким образом, можно отметить, что на основе базовых методов ГИС невозможно сделать выводы о наличии в интервале свиты коллектора в связи с индивидуальными литологическими особенностями, влияющими на ее продуктивность.

### ***Заключение***

На основе новых результатов аналитических исследований керна был выделен и обоснован интервал-коллектор баженовской свиты в разрезах четырех скважин Малобалыкской площади. Продуктивность свиты в разрезе скважины М-1 Малобалыкской площади связана с высококремнистым, малоглинистым интервалом с повышенными значениями пористости и низким значением пирита и органического вещества, в котором по данным пиролиза было зафиксировано увеличенное содержание подвижной нефти.

Подробные петрографические исследования образцов керна и последующих их сравнительный анализ позволил установить, что пустотное пространство образцов с наилучшими емкостными свойствами связано с радиоляриями, пустотное пространство которых не заполнено минеральными компонентами и органическим веществом. Стоит отметить, что в этих образцах, как правило, наблюдается лишь контур скелетов радиолярий, в то время как его внутренняя «пористая» часть отсутствует, что может быть связано с процессами выщелачивания кремнезема.

По результатам исследования было установлено, что высокое содержание кремнистой составляющей и низкие концентрации глинистых минералов и органического вещества не являются прямым признаком наличия коллектора. На примере изученных разрезов обосновано, что на основе стандартных методов геофизических исследований скважин невозможно сделать вывод о наличии в разрезе той или иной скважины интервала-коллектора.

### ***Благодарности***

За возможность использования петрофизического оборудования и выполнения измерений автор выражает признательность компании АО «Геологика». За консультации по определению палеонтологических остатков в баженовской свите авторы выражают благодарность членам-корреспондентам РАН Никитенко Б.Л. и Шурыгину Б.Н. За качественное определение пиролитических параметров и химического состава горных пород авторы признательны к.г.-м.н. К.В. Долженко, Н.Г. Кармановой, Л.М. Горчуковой, И.М. Фоминых.

*Анализ химического и минерально-компонентного состава пород баженовской свиты выполнен в рамках работы по проекту FWZZ-2022-0007. Анализ пиролитических характеристик органического вещества произведен в рамках работы по проекту FWZZ-2022-0011. Комплексный анализ всех результатов аналитических исследований кернового материала и данных ГИС с целью выделения коллекторов в разрезе баженовской свиты выполнен в рамках работы по проекту FWZZ-2022-0012.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшков А.М., Сайтов Р.М. Методика определения пористости и насыщенности сланцевых пород на дезинтегрированном керне // Нефтяное хозяйство. – 2023. – №1 – с. 6-12.
2. Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика. – 2016. – Т.57. – №11. – С. 2034-2043.
3. Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рыжкова С.В. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века // Вестник РАН. – 2019. – Т. 89. – №11. – С. 1095-1104.
4. Методические рекомендации по подсчету запасов нефти в отложениях баженовского горизонта Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. – 2017. – № 4 (67). – С. 70-100.
5. Фомина М.М., Балущкина Н.С., Хотылев О.В., Калмыков А.Г., Богатырева И.Я., Калмыков Г.А., Реуцкая И.О, Романенко С.А., Топчий М.С., Алехин А.А. Выделение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты центральной части Красноленинского свода // Георесурсы. – 2021. – Т.23. – №2. – С. 132-141.
6. Немова В.Д. Условия фомирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – Т.7. – №2. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/4/23\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf)

© Р. М. Сайтов, М. А. Фомина, А. Г. Замирайлова, И. С. Сотнич, 2023