

Выделение интервалов-коллекторов в разрезах баженовской свиты на Малобалыкской и соседних площадях (ХМАО, Западная Сибирь)

М. А. Фомин^{1}, А. Г. Замирайлова¹, Р. М. Саитов¹, И. С. Сотнич¹*

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

* e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В статье представлены результаты комплексной интерпретации новых результатов лабораторных исследований кернового материала баженовской свиты и данных ГИС по трем скважинам. Выбран комплекс критериев для выделения интервалов-коллекторов, который включает в себя результаты определения химического и минерально-компонентного состава пород, пиролизические характеристики содержащегося в них органического вещества, а также петрофизические свойства этих отложений. Установлено, что в рассматриваемом регионе коллекторами могут являться силициты, залегающие в средней части разреза баженовской свиты – они обладают высокой открытой пористостью и наличием подвижной нефти, подтвержденной притоком в одной из скважин. Показано, что на расстоянии в 15-20 км этот кремнистый интервал может не обладать коллекторскими свойствами, что, вероятно, связано с иным заполнением пустотного пространства этих пород. Карбонатные и фосфоритовые породы, которые на некоторых месторождениях в этом регионе также являются коллекторами, в изученных разрезах не содержат в себе подвижную нефть. Обосновано, что материалы ГИС могут использоваться только для выделения и прогноза возможных продуктивных интервалов, изучение которых лабораторными методами позволит установить в них наличие либо отсутствие коллекторов.

Ключевые слова: баженовская свита, керн, ГИС, коллектор, нефть

Substantiation of reservoirs in the Bazhenov Formation in the Malobalykская and neighboring areas (KhMAO, Western Siberia)

M. A. Fomin^{1}, A. G. Zamirailova¹, R. M. Saitov¹, I. S. Sotnich¹*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

* e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The article presents the results of a comprehensive interpretation of new results of laboratory studies of the core material of the Bazhenov formation and well logging data for three wells. A set of criteria for identifying reservoir intervals is substantiated, which includes the results of determining the chemical and mineral-component composition of rocks, the pyrolytic characteristics of the organic matter contained in them, as well as the petrophysical properties of these deposits. It has been established that the reservoirs can be silicites occurring in the middle part of the Bazhenov formation section - they have a high open porosity and the presence of mobile oil, confirmed by the inflow in one of the wells. It is shown that at a distance of 15-20 km this siliceous interval may not have reservoir properties, which is probably due to a different filling of the void space of these rocks. Carbonate and phosphorite rocks, which are also reservoirs in some fields in this region, do not contain mobile oil in the studied sections. It is substantiated that well logging data can only be used to

identify possible productive intervals, the study of which by laboratory methods will make it possible to establish and forecast the presence or absence of reservoirs in them.

Keywords: Bazhenov Formation, core, well-logging data, reservoir, oil

Введение

Карбонатно-глинисто-кремнистая высокоуглеродистая баженовская свита Западной Сибири считается основным источником поддержания и наращивания добычи в зрелой Западно-Сибирской провинции. Согласно оценкам, выполненным в ИНГГ СО РАН, в этих отложениях сосредоточено порядка 10-12 млрд т извлекаемых ресурсов нефти [1]. Во многих научных публикациях отмечается уникальность геологического строения баженовской свиты, ее высокий потенциал в качестве нефтяного резервуара. Вместе с тем, несмотря на тщательное изучение в последнее десятилетие этих отложений, по-прежнему крайне сложно прогнозировать перспективы их нефтеносности и возможный дебит нефти. Многими исследователями отмечается существенная литологическая неоднородность баженовской свиты не только по разрезу, но и по латерали – разрезы, находящиеся в нескольких десятках километрах друг от друга, могут иметь существенные различия в минерально-компонентном составе пород, а это значит – они будут различаться и по коллекторским свойствам. Все это затрудняет прогноз нефтеносности этих отложений и подсчет в них запасов нефти иногда даже в пределах одной площади.

Задачей исследования являлось выделение интервалов-коллекторов в разрезах баженовской свиты на Малобалыкской, Южно-Тепловской и Западно-Малобалыкской площадях (рис. 1). Выбор территории исследования обусловлен высокими региональными перспективами нефтеносности баженовской свиты в этом регионе, наличием свежего, еще не подверженного процессам гипергенеза, кернового материала, широкого комплекса ГИС по рассматриваемым скважинам, а также наличием в них результатов испытания баженовской свиты на приток.



Рис. 1. Обзорная карта района исследования

Методы и материалы

Исследование основывается на данных лабораторного изучения 190 образцов керна баженовской свиты, отобранных с шагом 0,3-0,4 м, и результатах интерпретации широкого комплекса ГИС. В скважине Малобалыкская образцами охарактеризован весь разрез, в скважине Западно-Малобалыкская – нижняя часть разреза, а в скважине Южно-Тепловская – верхняя часть разреза баженовской свиты.

Определение открытой пористости (K_p) пород выполнено по методу GRI, который предполагает ее расчёт на основе результатов определения объемной и минералогической плотностей. Исследования выполнялись в лабораторных условиях на образцах в состоянии их естественного насыщения, а затем – на этих же образцах после удаления из них свободных нефтяных флюидов и сушки при 105°C. Интервалы-коллекторы выделялись по наличию образцов с открытой пористостью более 6 % – такое значение является пороговым для получения промышленных притоков нефти из баженовской свиты [2].

Наличие подвижных углеводородных флюидов в открытом поровом пространстве породы было определено по результатам пиролитических исследований органического вещества. Они были выполнены в ИНГГ СО РАН на пиролизаторе Source Rock Analyzer (SRA, Weatherford Laboratories) в режиме TPH-TOC (Total Petroleum Hydrocarbon – Total Organic Carbon) без доступа кислорода в процессе пиролиза с двукратным выделением углеводородов (УВ), с последующим окислением и расчетом содержания органического углерода.

Критериями для выделения нефтенасыщенных интервалов являлись следующие пиролитические показатели:

- высокий индекс продуктивности $PI = S_1 / (S_1 + S_2)$, изменяющийся от 0,2 до 0,4 отн. ед.;
- соотношение параметров S_1 / TOC , превышающее 100%;
- высокие значения параметра S_1 (показатель S_1 отвечает за выход УВ, находящихся в породе в свободном и адсорбированном состоянии), превышающие 10 мг УВ / г породы.

Химический анализ пород с определением основных породообразующих компонентов выполнен на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation) в ЦКП МИИ СО РАН. Погрешность определения не превышает таковую для второй категории точности по ГОСТ 41-08-205-99. Содержание в породах серы сульфидной, сульфатной и форм железа определено лабораторно методом «мокрой химии» в ЦКП МИИ СО РАН. По результатам этих исследований проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике О.М. Розена с соавторами [3]. Порядок операций этого пересчета является последовательным решением отдельных задач. В первую очередь были вычислены содержания акцессорных и второстепенных компонентов по стехиометрическим составам, затем был выполнен расчет алюмосиликатов и гиббсита на основании распределения алюминия между соответствующими минералами. По остаткам химических компонентов были вычислены содержа-

ния силикатов, окислов и карбонатов в соответствии с избытком или недостатком компонентов. По результатам пересчета каждому образцу было присвоено литологическое название согласно классификации [4].

Комплекс ГИС представлен диаграммами электрического (БК – боковой каротаж, БКЗ (зонды Gz1, Gz2, Gz3, Gz4), ПС – потенциал самопроизвольной поляризации), радиоактивного (ГК – гамма-каротаж, НКТб и НКТм – нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (большой и малый зонды), ГГК-П – гамма-гамма плотностной каротаж) и электромагнитного (ИК – индукционный каротаж, ВИКИЗ) каротажа.

Результаты и их обсуждение

На изучаемой территории нижняя часть баженовской свиты представлена микститами кероген-глинисто-кремнистыми, средняя часть – силицитами и силицитами керогеновыми. В прикровельной части свиты выделяется пятиметровый интервал с повышенным содержанием карбонатного материала (СаО до 25-30 %). Этот интервал соответствует «кокколитовой» пачке баженовской свиты [5], которая представлена кероген-карбонатно-кремнистыми микститами с прослоями, содержащими реликты кокколитофоридовых водорослей.

Наиболее обогащены органическим веществом ($C_{орг}$ до 15,5 % на породу) породы верхней части разреза баженовской свиты, которые являются основными нефтегенерирующими породами (S_1 до 6,7 мг УВ/г породы, S_2 до 82,8 мг УВ/г породы, $PI < 0,1$) в разрезе баженовской свиты. Органическое вещество баженовской свиты – аквагенное (II тип керогена, $HI = 200-530$ мг УВ/г ТОС) находится в главной зоне нефтеобразования – градация катагенеза MK_1^2 ($R_{vt}^o = 0,73-0,84$ %). Значения T_{max} в большей части образцов (77 % коллекции) изменяется от 440 до 444°C.

В скважине Малобалыкская на глубинах 2937,5–2940,2 м выделяются силициты (SiO_2 до 88%) и силициты керогеновые, существенно отличающиеся от выше- и нижележащих пород высокими значениями индекса продуктивности $PI = 0,2-0,4$ отн.ед (рис. 2). Значения ТОС в этом интервале изменяются от 2,5 до 8,5 % на породу, S_1 – от 3,5 до 10,5 мг УВ/г породы. Отношение $S_1/ТОС$ для 5 образцов превышает 100 мг УВ/г ТОС. Открытая пористость пород после экстракции изменяется от 6 до 12 %. В результате испытаний из интервала 2937-2957 м получен приток нефти дебитом 26,97 м³/сут. На основании этих результатов этот интервал был выделен в качестве коллектора. Скорее всего, этот кремнистый интервал представлен реликтами раковин радиолярий, пустотное пространство которых заполнено подвижной нефтью. В этом прослое силицитов в связи с миграционными процессами отмечается некоторое занижение показателей катагенетической преобразованности ОВ: значения T_{max} варьируют в пределах 436–442°C, $R_{vt}^o = 0,68-0,79$ % (рис. 3).

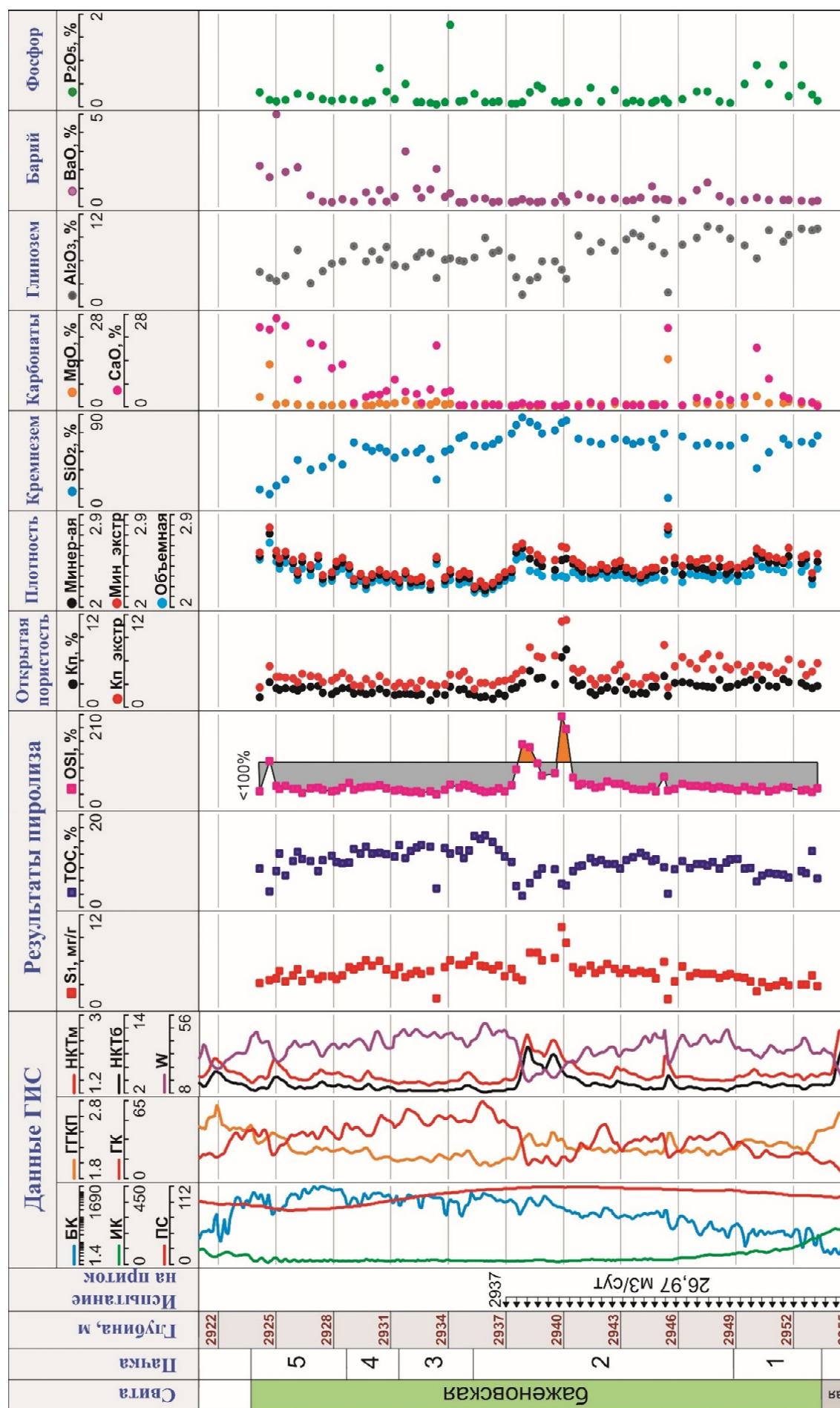


Рис. 2. Геолого-геофизический планшет по одной из скважин с Малобалыкской площади

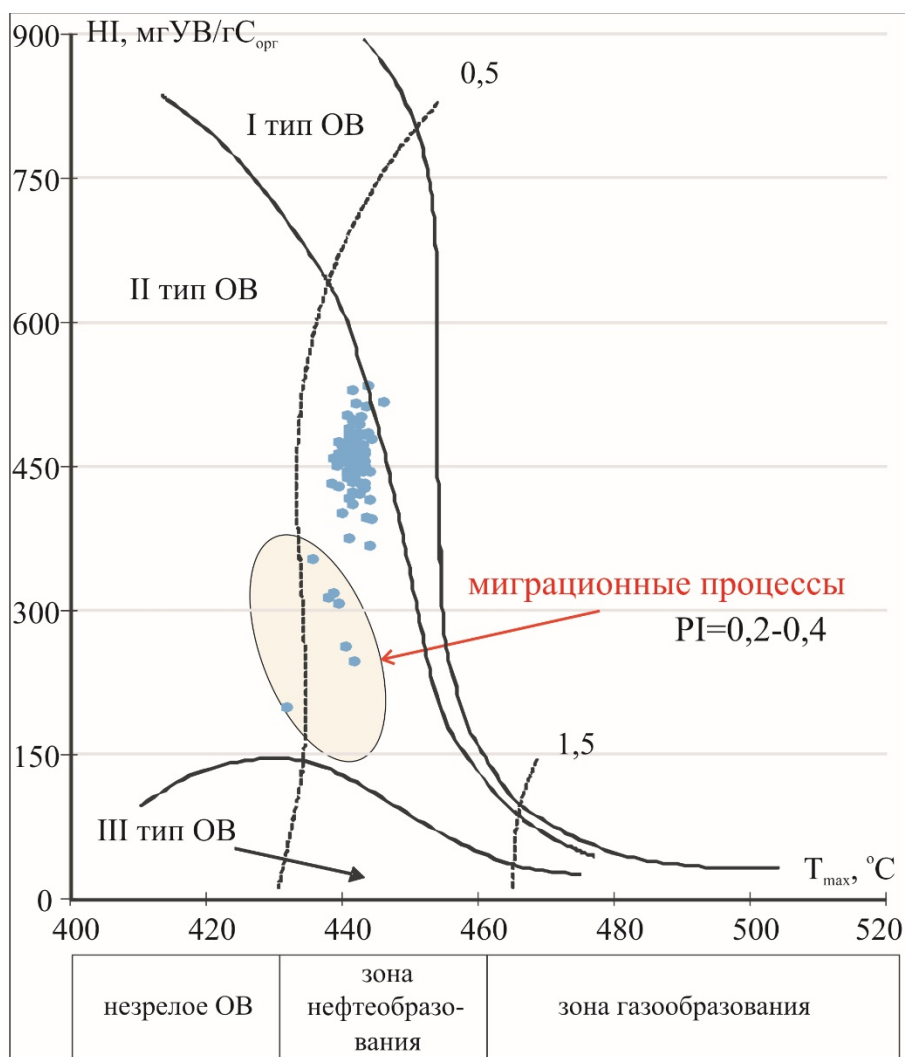


Рис. 3. Диаграмма зависимости HI- $T_{\max}$ для образцов баженовской свиты в разрезе скв. Малобалыкская.

В одном из образцов в верхней части разреза отмечается повышенное значения индекса продуктивности $PI = 0,3$ отн. ед, что является одним из значимых признаков коллектора. Этот образец представлен почти на 75 % карбонатным материалом, содержание $C_{\text{орг}}$ около 3,5 %. Открытая пористость после экстракции около 5 %. Однако значение S_1 является фоновым и не превышает 3,5 мг УВ/г породы. Именно этим объясняется такой высокий показатель PI . Таким образом, этот образец нельзя считать коллектором.

В разрезах баженовской свиты в рядом расположенных скважинах Западно-Малобалыкская и Южно-Тепловская в средней части разреза также выделяется интервал плотных кремнистых пород, однако признаков коллектора в нем не зафиксировано. Значения индекса продуктивности PI не превышают 0,1 отн. ед. Содержание ТОС изменяется от 3,5 до 9 % на породу, S_1 – от 1,5 до 5,5 мг УВ/г породы. Отношение $S_1/\text{ТОС}$ лишь в одном образце достигает значения 72 мг УВ/г ТОС, во всех остальных – не превышает 55-60 мг УВ/г ТОС. Открытая пористость не превышает 5 %. Отсутствие свободной нефти в этом интервале

может быть связано с заполнением пустотного пространства в результате вторичных седиментационных преобразований [5]. Более точно причина отсутствия подвижной нефти станет понятна после просмотра шлифов и изучения морфологии пустотного пространства на сканирующем электронном микроскопе.

Во всех трех скважинах этот описанный выше высококремнистый интервал в средней части разреза на каротажных кривых характеризуется минимальными значениями ГК, повышенными показаниями БК, ГГК-П и НКТ. Т.е. качественные признаки по ГИС у этих пород одинаковые, однако в одном случае они являются коллектором, а в другом – нет. Таким образом, прогноз коллекторов баженовской свиты только по данным каротажа не является достоверным. Материалы ГИС могут использоваться лишь для выделения возможных продуктивных интервалов, изучение керн которых лабораторными методами, в комплексе с испытаниями на приток, позволит установить в них наличие свободной нефти или зафиксировать ее отсутствие.

Заключение

На основе новых результатов лабораторных исследований кернового материала обоснован комплекс критериев для выделения интервалов-коллекторов, который включает в себя результаты определения химического и минерально-компонентного состава пород, пиролитические характеристики содержащегося в них органического вещества, а также петрофизические свойства этих отложений. В изученном разрезе на Малобалыкской площади коллекторами являются силициты, залегающие в средней части разреза баженовской свиты – они обладают высокой открытой пористостью и наличием подвижной нефти, подтвержденной притоком в одной из скважин. Показано, что на расстоянии в 15-20 км этот высококремнистый интервал не обладает коллекторскими свойствами, что, вероятно, связано с вторичными преобразованиями этих пород. Для ответа на этот вопрос необходимо изучение морфологии и заполнения пустотного пространства в шлифах и на сканирующем электронном микроскопе. Карбонатные и фосфоритовые породы, которые на некоторых месторождениях в этом регионе также являются коллекторами, в изученных разрезах не содержат в себе подвижную нефть.

Обосновано, что материалы ГИС могут использоваться только для выделения возможных продуктивных интервалов, изучение которых лабораторными методами позволит установить в них наличие либо отсутствие коллекторов.

В заключение, необходимо обратить внимание еще на одно обстоятельство. Изучаемый регион по целому ряду региональных критериев является самым перспективным в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с точки зрения нефтеносности баженовской свиты. Однако интервал-коллектор выделяется в разрезе только одной скважины из трех, при этом имея незначительную мощность – 2,7 м. Даже не выполняя количественную оценку, очевидно, что запасы нефти в таких коллекторах (хрупких кремнистых породах, отдающих нефть в результате стимуляции притока) будут относительно невелики. Для того, чтобы ба-

женовская свита стала основным нефтяным резервом страны, необходимо разрабатывать технологии разведки и добычи углеводородов и из высокоуглеродистых пород [1], которые сегодня рассматриваются, как правило, только в качестве нефтегенерирующих интервалов.

Благодарности

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. 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.

Авторы выражают благодарность аналитикам АЦ ИГМ Л.А. Горчуковой, И.М. Фоминых, Н.Г. Кармановой – за выполнение химических анализов пород; научному сотруднику лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН К.В. Долженко – за выполнение пиролитических исследований органического вещества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рыжкова С.В. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века // Вестник Российской Академии наук. – 2019. – Т.89. – №11. – С. 1095-1104.
2. Калмыков Г.А., Балущкина Н.С. Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. – М.: ГЕОС, 2017. – 246 с.
3. Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия. – 2000. – № 4. – С. 431-444.
4. 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.
5. Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Ян П.А. Закономерности распространения кремнистых пород и "кокколитовой" пачки баженовской свиты // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 3-4. – С. 511-521.
6. Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещиноватых и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. – 2017. – № 4 (67). – С. 70-100.
7. 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.

© М. А. Фомин, А. Г. Замирайлова, Р. М. Саитов, И. С. Сотнич, 2022