

25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых (технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2021-1-9-19

УДК 622.031.5

**Выделение интервалов трещиноватости и обоснование параметров
трещин отложений доюрского комплекса**

П. А. Боронин*, Н. В. Гильманова, Н. Ю. Москаленко

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень, Россия
*e-mail: BoroninPA@tmn.lukoil.com

Аннотация. Объектом исследования в данной работе являются продуктивные отложения доюрского комплекса, представляющие большой интерес. Это нетрадиционный коллектор со сложным строением и развитыми трещиноватыми зонами. Высокие дебиты не могут определяться матрицей горных пород, так как коэффициент проницаемости матрицы в среднем составляет 2–3 мД. В связи с этим возникает проблема выделения трещиноватых интервалов по стандартному комплексу геофизических исследований скважин.

Ключевые слова: доюрский комплекс; эффузивная порода; вулканогенные породы; петрофизика; горные породы; геофизика

**Allocation of fracturing intervals and justification of fracture parameters
in the pre-Jurassic deposits**

Pavel A. Boronin*, Natalia V. Gilmanova, Natalia Yu. Moskalenko

KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen, Russia
*e-mail: BoroninPA@tmn.lukoil.com

Abstract. The object of research in this article is the productive deposits of the pre-Jurassic complex. The pre-Jurassic complex is of great interest, this is an unconventional reservoir with a complex structure and developed fractured zones. High flow rates cannot be determined by the rock matrix, since the matrix permeability coefficient is on average 2–3 md. In this regard, there is the problem of separation of fractured intervals according to a standard set of well testing.

Key words: the pre-Jurassic complex; volcanic rock; volcanogenic rocks; petrophysics; rocks; geophysics

Введение

Объектом исследования в данной работе являются продуктивные отложения доюрского (триасового) комплекса (ДЮК) Красноленинской нефтегазоносной области. Доюрский комплекс представляет большой интерес, это нетрадиционный коллектор со сложным строением и фиксируемыми высокими дебитами нефти. Скважины работают на фонтанирующем режиме длительный период [1–4].

Вулканогенные породы представлены толщей коллекторов кислого, среднего и основного состава [5–8]. На Сибирском месторождении отложения доюрского фундамента преимущественно сложены эффузивной магматической породой кислого состава, риолитом, от светло-серого до белого цвета, от скрытокристаллической до порфировой структуры (на фоне скрытокристаллической структуры породы выделяются включения кварца и полевых шпатов до 2 мм), плотной, крепкой, твердой, в ряде случаев раздробленной по трещинам на отдельные фрагменты.

Кислый состав пород подтверждается данными геофизических исследований скважин (ГИС) и керна при использовании палетки TAS (Total Alkali versus Silica) для классификации пород, которая основана на сравнении содержания $K_2O + Na_2O$ и SiO_2 (рис. 1).

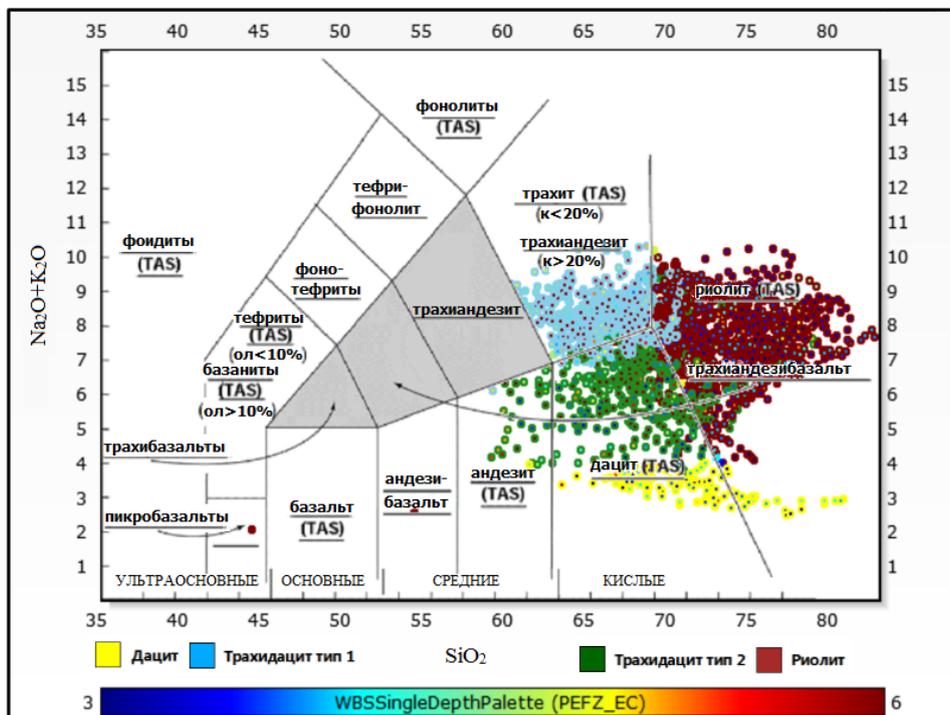


Рис. 1. Палетка определения типа эффузивного материала по его щелочности — кислотности (ска. 1Р)

Преимущественно однотипный состав пород предопределяет использование единых петрофизических алгоритмов разреза ДЮК без дополнительного деления на литотипы.

Объект и методы исследования

При оценке фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) сложных вулканогенных пород ДЮК можно выделить три основных направления:

- 1) обоснование параметров матрицы (порового коллектора) [9–11];
- 2) анализ кавернозной составляющей [12, 13];
- 3) выделение интервалов трещиноватости и обоснование параметров трещин [14, 15].

В данной статье основной акцент будет сфокусирован на анализе трещиноватости, под которым следует понимать оценку распределения элементов залегания трещин, качественное выделение наиболее трещиноватых интервалов, а также расчет количественных характеристик.

Результаты

Сложность строения вулканогенных пород ДЮК, а также малая изученность на данный момент приводят к проблемам при сопоставлении результатов исследований данных отложений различными методами (керна, ГИС, испытания). В связи с этим в данной работе проводился обобщенный анализ данных по разным скважинам и методам исследований.

На рисунке 2 приведены фотографии керны в ультрафиолетовом свете из скважины 2Р в интервале ДЮК, в скважине выполнен стандартный комплекс ГИС. На фотографиях отмечено свечение углеводородов вдоль распространения трещиноватости. Следует отметить, что такое развитие насыщенных трещин отмечено не для всех скважин месторождения.



Рис. 2. Керн в ультрафиолетовом свете, отобранный из скважины 2Р из интервала ДЮК

По описанию шлифов скважин 1Р и 3Р трещины залечены темноцветным (темно-бурым до черного) минеральным материалом, предположительно, гидротермально-метасоматического происхождения. Открытые трещины на керне выявлены в единичных экземплярах образцов. Значения емкости по шлифам крайне малы (в среднем 0,03 %) и не могут быть использованы для обоснования подсчетных параметров.

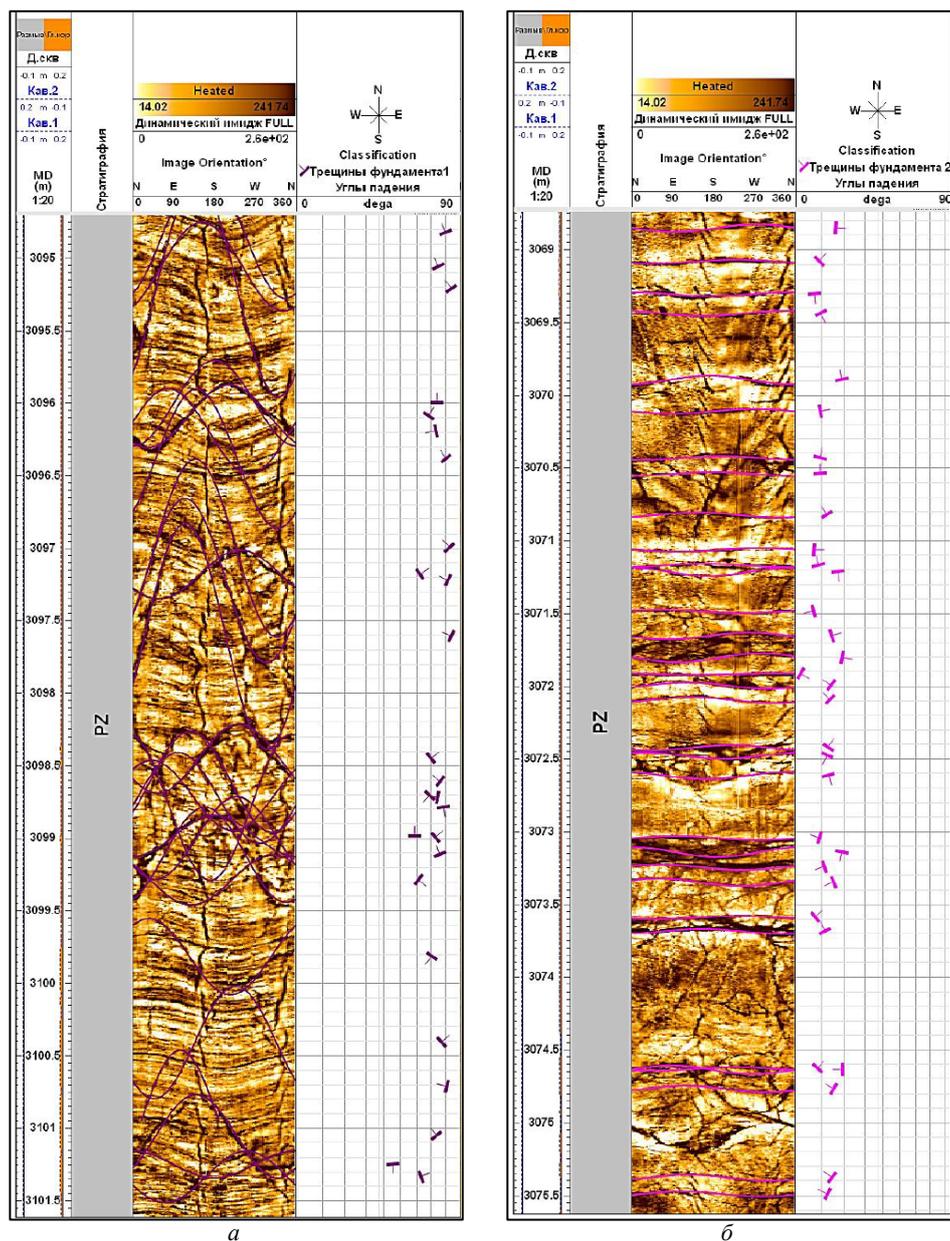


Рис. 3. Интервалы трещиноватости по FMI скважины 1Р Сибирского месторождения: а) трещины 1-го типа; б) трещины 2-го типа

По результатам интерпретации данных электрического микроимиджера, зарегистрированного в двух скважинах — 1Р и 3Р, выделяются два типа трещин.

- Трещины фундамента 1-го типа — нарушение сплошности горных пород, без видимого смещения по поверхности разрыва в интервале залегания фундамента с углом падения более 15 градусов. Трещины характеризуются явно выраженными полными трассами с видимой раскрытостью.

- Трещины фундамента 2-го типа — нарушение сплошности горных пород без видимого смещения по поверхности разрыва в интервале залегания фундамента с углом падения менее 15 градусов. Трещины характеризуются неявно выраженными трассами, нередко частичными, с отсутствием видимой раскрытости.

Почти все выделенные трещины проводят электрический ток. Однако однозначно говорить об их открытости только по данным электрического микроимиджера затруднительно, так как проводить ток могут трещины, залеченные проводящим материалом. Наличие проводящих минералов в залеченных трещинах подтверждается описанием шлифов по керну. Притоки, полученные при испытаниях скважин 1Р и 3Р, не связаны с выделенными интервалами трещиноватости. Примеры выделения трещиноватости по данным FMI приведены на рисунке 3.

Матрица пород-коллекторов характеризуется граничной пористостью 14,8 %, минералогическая плотность — 2,64 г/см³, интервальное время пробега волны скелета породы — 160 мкс/м.

По результатам испытаний отмечаются притоки флюида в интервалах с пористостью матрицы менее 10 %. На рисунке 4 приводятся примеры испытаний интервалов с ФЕС ниже граничных значений матрицы коллектора.

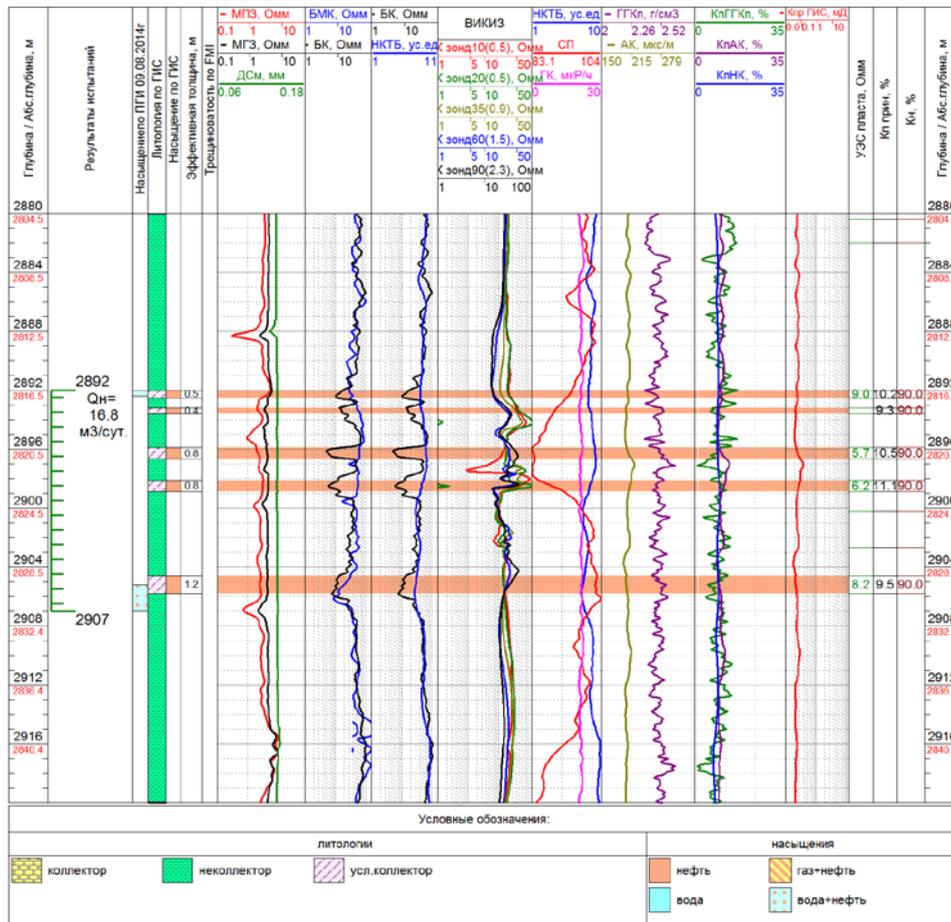


Рис. 4. Интервал испытания с ФЕС ниже граничных значений матрицы коллектора в скважине 4Р

В скважине 4Р по результатам промыслово-геофизических исследований (приток-состав) выделены работающие интервалы общей мощностью 2,2 м (2 892,0–2 892,4 и 2 905,2–2 907,0 м). Состав притока по гидродинамическим уровням в остановленной скважине — «вода + нефть + газ», с уточнением по барометрии.

Наличие притока из интервалов с ФЕС ниже граничных значений матрицы коллектора свидетельствует о возможности активации трещин за счет техногенного воздействия (бурение, перфорация, гидравлический разрыв пласта, создание депрессии и репрессии).

Существуют различные способы оценки трещиноватой компоненты разреза:

- по сопоставлению интервального времени поперечной волны и волны Стоунли [16];
- по расчетной сжимаемости порово-трещинного коллектора [17];
- по комплексному сопоставлению акустического каротажа (АК), гамма-гамма плотностного каротажа (ГГКп), нейтронного каротажа (НК) [18];
- по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) [19].

Обсуждение

В данной работе выделение трещиноватых интервалов рассматривалось по всем указанным способам.

По расхождению декремента затухания поперечной волны и волны Стоунли трещиноватые интервалы выделяются однозначно, однако, реализовать данный подход на всем фонде скважин невозможно.

Для выделения трещиноватых пород по УЭС в качестве базового варианта была использована формула для пород с трещинно-блоковой пористостью:

$$K_{\text{птр}} = B \cdot \frac{\rho_{\text{ф}} \cdot (\rho_{\text{бл}} - \rho_{\text{птрк}})}{A \cdot \rho_{\text{птрк}} - \rho_{\text{бл}}},$$

где $\rho_{\text{бл}}$ — УЭС блока по данным ИКЗ (индукционное каротажное зондирование) или ВИКИЗ (высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование); $\rho_{\text{птрк}}$ — УЭС трещин по данным бокового каротажа (БК); $\rho_{\text{ф}}$ — УЭС промысловочной жидкости по данным резистивиметрии; A — коэффициент, изменяющийся в пределах $0,5 < A < 1$ в зависимости от ориентации трещин в коллекторе, для хаотического распределения трещин равен 0,67; B — коэффициент, учитывающий вклад каверновой составляющей, принятый равным 1.

С учетом указанных допущений расчет $K_{\text{птр}}$ в интервалах разреза, содержащих и поровую (матричную) компоненту, оказался несостоятельным, так как большой вклад вносило изменение сопротивления за счет насыщения породы.

Однако для выделения трещиноватых интервалов возможно использование сопоставления удельных сопротивлений пластов $\rho_{\text{п}}$ с показаниями одного из методов пористости: $\rho_{\text{п}} = f(\text{НК})$; $\rho_{\text{п}} = f(\Delta t)$; $\rho_{\text{п}} = f(\delta)$. Смещение точек на графиках относительно линии гранулярных пород в сторону снижения УЭС может свидетельствовать о наличии в изучаемом разрезе трещиноватых пластов, а степень этого смещения характеризует величину

трещиноватой пористости. В данной работе в качестве оценочного было применено сопоставление $\rho_n = f(\text{НК})$ (рис. 5).

Для исключения влияния отличия показаний нейтронного каротажа по разным скважинам методы БК и НК были совмещены в одном поле на геолого-геофизическом планшете и нормированы по вмещающим породам.

Оценка подсчетных параметров указанных интервалов ($K_{\text{пр}}$) выполнена с учетом данных гидродинамических исследований (ГДИ).

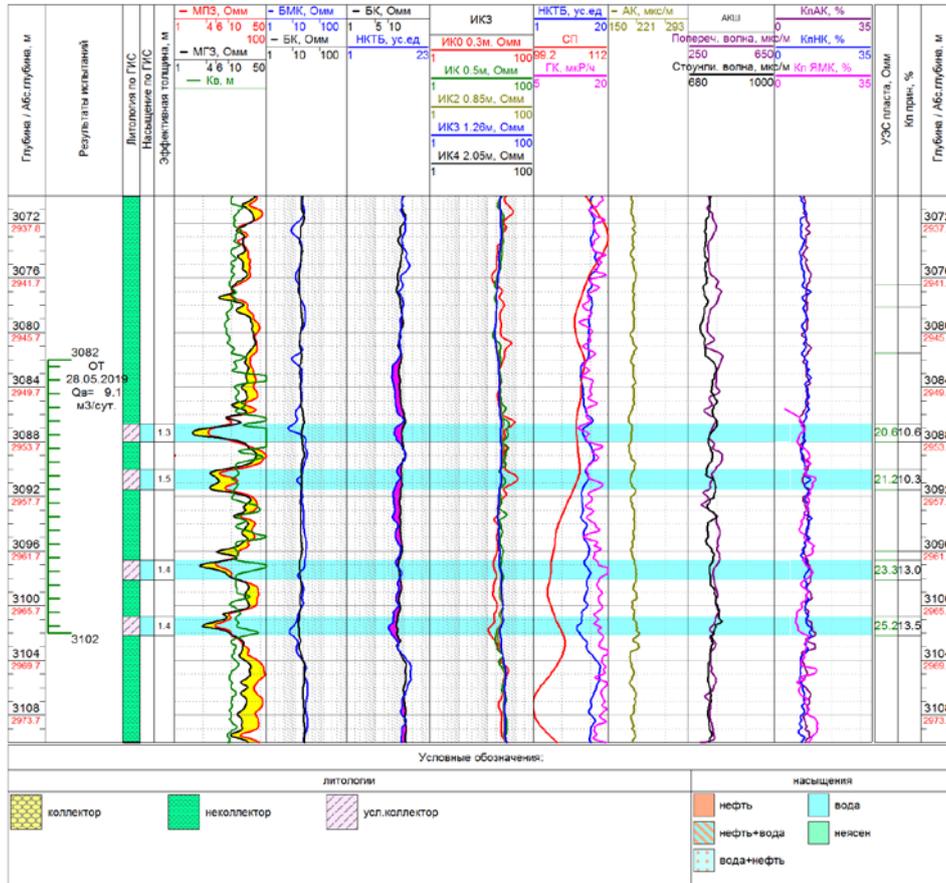


Рис. 5. Интервал испытания с ФЕС ниже граничных значений матрицы коллектора в скважине 5P

На основании интерпретации ГДИ по скважине 4P в интервале испытания 2 892–2 907 м доюрских отложений, при отсутствии порового коллектора в данном интервале, осуществлена оценка возможных параметров трещин через уравнение Тиаба — Доналдсона [20]:

$$K_{\text{пр.тр}} = 8,44 \cdot 10^{-4} \cdot W^2 \cdot K_{\text{дтр}},$$

где $K_{\text{пр.тр}}$ — проницаемость, Д; $K_{\text{дтр}}$ — трещинная пористость, %; W — ширина трещин (просвет), мкм. Ширина трещин задана равной 10 мкм (минимальное значение, при котором блоки породы оказываются связанными между собой).

Исходя из проницаемости по данным ГДИ, равной 18,4 мД, оценена пористость трещин, равная 0,2 % или 0,002 д.ед. Коэффициент насыщения трещин задан равным 0,9 д.ед. [20]. Характер насыщения трещиноватых интервалов присваивался либо по данным испытаний, либо по геологической модели.

Выводы

Выделение потенциально трещиноватых интервалов с возможно открытой трещиноватостью выполнялось по комплексу методов БК (ИКЗ)-НК+АК. В качестве основного принято сопоставление БК-НК, поскольку приращение между методами БК-НК фиксируется и для порового коллектора, к трещиноватым интервалам были отнесены прослои с пористостью, меньше граничной для матрицы.

Библиографический список

1. Ворон, И. А. Геологическое строение Средне-Назымского месторождения и проект доразведки залежей нефти в доюрских отложениях / И. А. Ворон. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы поисков и разведки месторождений нефти и газа : сборник трудов конференции (Москва, 28–29 сентября 2017 года) ; Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина. – Москва : Нефть и газ, 2017. – С. 168–173.
2. Попов, И. П. Обоснование комплекса исследований трещинных коллекторов пласта ТР Рогожниковского месторождения / И. П. Попов, А. Ю. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2016. – № 4 (94). – С. 54–57.
3. Кос, И. М. Сейсмогеологическое строение доюрских образований Рогожниковского лицензионного участка / И. М. Кос, Н. М. Белкин, Н. К. Курышева. – Текст : непосредственный // Геофизика. – 2004. – № 5. – С. 77–82.
4. Фатеев, А. В. Прогноз коллекторов в породах фундамента Западной Сибири / А. В. Фатеев, Л. В. Смирнов. – Текст : непосредственный // Наука и ТЭК. – 2012. – № 4. – С. 41–42.
5. Гилязова, С. М. Литология и вещественный состав палеозой-триасовых образований Южно-Галяновского и Мытаяхинского участков Фроловского мегапрогиба Среднего Приобья в свете проблем нефтегазоносности бассейна / С. М. Гилязова, А. В. Сиднев. – Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2009. – № 6. – С. 55–58.
6. Хаматдинова, Э. Р. Литологическое расчленение эффузивных коллекторов по данным ГИС / Э. Р. Хаматдинова. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2008. – № 10 (175). – С. 66–80.
7. Ефимов, В. А. Ядерно-физическая характеристика вулканогенных горных пород / В. А. Ефимов. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 8. – С. 108–110.
8. Хотылев, А. О. Строение доюрского комплекса Красноленинского свода (Западная Сибирь) : состав, структура и нефтеносность / А. О. Хотылев. – Текст : непосредственный // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий : сборник материалов конференции. – Уфа, 2019. – № 7. – С. 32–36.

9. Глебочева, Н. К. Структура емкостного пространства эффузивных коллекторов по данным ГИС и керн / Н. К. Глебочева, В. М. Теленков, Э. Р. Хаматдинова. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2009. – № 6 (183). – С. 3–10.
10. Хаматдинова, Э. Р. Емкостно-фильтрационные свойства эффузивных коллекторов Западной Сибири / Э. Р. Хаматдинова. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2008. – № 12 (177). – С. 19–35.
11. Сеидов, В. М. О. Об определении петрофизических параметров эффузивных коллекторов на основе промыслово-геофизических данных / В. М. О. Сеидов. – Текст : непосредственный // Образование и наука в России и за рубежом. – 2019. – № 3 (51). – С. 425–435.
12. Патласов, М. С. Способы оценки каверновой составляющей горных пород / М. С. Патласов, А. М. Лапоногов. – Текст : непосредственный // Геология в развивающемся мире : сборник научных трудов по материалам XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Пермь, 2–5 апреля 2019 года) ; отв. ред. Ю. А. Башурова. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. – С. 354–356.
13. Юматов, А. Ю. Распространение упругих продольных волн в пористых горных породах с трещинами и кавернами : специальность 01.04.12 «Геофизика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Юматов Аркадий Юрьевич. – Москва, 1984. – 133 с. – Текст : непосредственный.
14. Плотников, В. В. Влияние трещиноватости на петрофизические свойства пород-коллекторов / В. В. Плотников, Б. В. Терентьев. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 9. – С. 10–13.
15. Дьяконова, Ю. А. Интерпретация данных сейсморазведки и каротажа для выявления трещиноватости / Ю. А. Дьяконова, В. В. Дьяконов. – Текст : непосредственный // Научные исследования и инновации. – 2011. – Т. 5, № 1. – С. 11–14.
16. Князев, А. Р. Оценка трещиноватости низкопористых карбонатных нефтенасыщенных пород по результатам геофизических исследований скважин : специальность 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Князев Александр Рафаилович. – Пермь, 2009. – 26 с. – Место защиты : Пермский государственный университет. – Текст : непосредственный.
17. Добрынин, В. М. Петрофизика (физика горных пород) : учебник для студентов вузов / В. М. Добрынин, Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников. – Москва : Нефть и газ : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 368 с. – Текст : непосредственный.
18. Боярчук, А. Ф. Современное состояние и перспективы развития промыслово-геофизических методов изучения трещинных коллекторов / А. Ф. Боярчук. – Москва : ВНИИОНГ, 1983. – 57 с. – Текст : непосредственный.
19. Нечай, А. М. Определение литологических свойств горных пород по результатам геофизических исследований в скважинах / А. М. Нечай. – Текст : непосредственный // Прикладная геофизика. – 1954. – № 11. – С. 3–49.
20. Тиаб, Д. Петрофизика : теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Д. Тиаб, Э. Ч. Доналдсон ; пер. с англ. М. Д. Углова, под ред. В. И. Петерсилье, Г. А. Былевского. – 2-е изд., доп. – Москва : Премиум Инжиниринг, 2009. – 838 с. – (Промышленный инжиниринг). – Текст : непосредственный.

References

1. Voron, I. A. (2017). Geologicheskoe stroenie Sredne-Nazym'skogo mestorozhdeniya i proekt dorazvedki zalezhey nefi v doyurskikh otlozheniyakh. Aktual'nye voprosy poiskov i razvedki mestorozhdeniy nefi i gaza: sbornik trudov konferentsii (September, 28-29). Moscow, Neft' i gaz Publ., pp. 168-173. (In Russian).
2. Popov, I. P., & Kuz'min, A. Yu. (2016). Obosnovanie kompleksa issledovaniy treshchinnykh kollektorov plasta TR Rogozhnikovskogo mestorozhdeniya. Estestvennyye i tekhnicheskie nauki, (4(94)), pp. 54-57. (In Russian).
3. Kos, I. M., Belkin, N. M., & Kuryshcheva, N. K. (2004). Seysmogeologicheskoe stroenie doyurskikh obrazovaniy Rogozhnikovskogo litsenzionnogo uchastka. Russian Geophysics, (S), pp. 77-82. (In Russian).
4. Fateev, A. V., & Smirnov, L. V. (2012). Prognoz kollektorov v porodakh fundamenta Zapadnoy Sibiri. Nauka i TEK, (4), pp. 41-42. (In Russian).
5. Gilyazova, S. M., & Sidnev, A. V. (2009). Litologiya i veshchestvennyy sostav paleozoy-triasovykh obrazovaniy Yuzhno-Galyanovskogo i Mytayakhinskogo uchastkov Frolovskogo megaprogiba Srednego Priob'ya v svete problem neftegazonosnosti basseyna. International journal of applied and fundamental research, (6), pp. 55-58. (In Russian).
6. Khamatdinova, E. R. (2008). Lithological subdivision of effusive reservoirs based on well logging data. Karotazhnik, (10(175)), pp. 66-80. (In Russian).
7. Efimov, V. A. (2006). The nuclear physics characteristic of volcanogenic rocks. Oil Industry, (8), pp 108-110. (In Russian).
8. Khotylev, A. O. (2019). Stroenie doyurskogo kompleksa Krasnoleninskogo svoda (Zapadnaya Sibir'): sostav, struktura i neftenosnost'. Geologiya, geoekologiya i resursnyy potentsial Urals i sopredel'nykh territoriy: sbornik materialov konferentsii. Issue 7. Ufa, pp. 32-36. (In Russian).
9. Glebocheva, N. K., Telenkov, V. M., & Khamatdinova, E. R. (2009). Effusive reservoir capacity space structure from logs and core. Karotazhnik, (6(183)), pp. 3-10. (In Russian).
10. Khamatdinova, E. R. (2008). Filtration and capacity properties of West Siberian effusive reservoirs. Karotazhnik, (12(177)), pp. 19-35. (In Russian).
11. Seyidov, Vagif oglu Mirgaza. (2019). On the determination of petrophysical parameters of effusive collectors based on industrial and geophysical data. Education and science in Russia and abroad, (3(51)), pp. 425-435. (In Russian).
12. Patlasov, M. S., & Laponogov, A. M. (2019). Sposoby otsenki kavernovoy sostavlyayushchey gornykh porod. Geologiya v razvivayushchemsya mire: sbornik nauchnykh trudov po materialam XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Perm, April, 2-5). Perm, Perm State University Publ., pp. 354-356. (In Russian).
13. Yumatov, A. Yu. (1984). Rasprostranenie uprugikh prodol'nykh voln v poristykh gornykh porodakh s treshchinami i kavernami. Diss. ... kand. fiz.-mat. nauk. Moscow, 133 p. (In Russian).
14. Plotnikov, V. V., & Terent'ev, B. V. (2007). Vliyanie treshchinovatosti na petrofizicheskie svoystva porod-kollektorov. Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields, (9), pp. 10-13. (In Russian).
15. D'yakonova, Yu. A., & D'yakonov, V. V. (2011). Interpretatsiya dannykh seysmorazvedki i karotazha dlya vyyavleniya treshchinovatosti. Nauchnye issledovaniya i innovatsii, 5(1), pp. 11-14. (In Russian).
16. Knyazev, A. R. (2009). Otsenka treshchinovatosti nizkoporistykh karbonatnykh neftenasyshchennykh porod po rezul'tatam geofizicheskikh issledovaniy skvazhin. Avtoref. diss. ... kand. geol.-mineral. nauk. Perm, 26 p. (In Russian).

17. Dobrynin, V. M., Vendel'shteyn, B. Yu., & Kozhevnikov, D. A. (2004). Petrofizika (fizika gornyykh porod). Moscow, Neft' i gaz Publ., Gubkin University, 368 p. (In Russian).
18. Boyarchuk, A. F. (1983). Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya promyslovo-geofizicheskikh metodov izucheniya treshchinnykh kollektorov. Moscow, VNIIONG Publ., 57 p. (In Russian).
19. Nechay, A. M. (1954). Opredelenie litologicheskikh svoystv gornyykh porod po rezul'tatam geofizicheskikh issledovaniy v skvazhinakh. Prikladnaya geofizika, (11), pp. 3-49. (In Russian).
20. Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2003). Petriphysics. Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. 2nd edition. Amsterdam [etc.], Elsevier, 894 p. (In English).

Сведения об авторах

Боронин Павел Александрович, главный специалист, Центр геологического моделирования и подсчета запасов, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень, e-mail: BoroninPA@tmn.lukoil.com

Гильманова Наталья Вячеславовна, к. г.-м. н., главный специалист, проектный офис по освоению Имилорско-Источного участка недр, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень

Москаленко Наталья Юрьевна, начальник управления, Центр геологического моделирования и подсчета запасов, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень

Information about the authors

Pavel A. Boronin, Main Specialist, Center for Geological Modeling and Reserves Estimation, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen, e-mail: BoroninPA@tmn.lukoil.com

Natalia V. Gilmanova, Candidate of Geology and Mineralogy, Main Specialist, Project Office for the Development of the Imilorsko-Istochny Subsoil Area, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen

Natalia Yu. Moskalenko, Head of Department, Center for Geological Modeling and Reserves Estimation, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen