

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора геолого-минералогических наук Калмыкова Георгия Александровича на диссертацию Рябухина Антона Дмитриевича **«Методики повышения точности определения коллекторских свойств низкопроницаемых пород нефтегазоносных пластов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

1. Актуальность темы

Диссертационная работа Рябухина Антона Дмитриевича посвящена актуальной научной и практической задаче повышения точности определения коллекторских свойств низкопроницаемых пород нефтегазоносных пластов. Актуальность исследования определяется расширением масштабов освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородов и необходимостью получения достоверных петрофизических характеристик пород, определяющих качество геологических моделей залежей.

Как справедливо отмечает автор, значительная часть традиционно применяемых в отечественной практике методик исследования керна была разработана преимущественно для высокопроницаемых терригенных коллекторов и не в полной мере учитывает особенности низкопроницаемых пород. Для таких объектов существенное влияние на результаты экспериментов оказывают микротрещиноватость, микропористость, особенности распределения флюидов, а также технологические факторы пробоподготовки и проведения измерений.

Особую актуальность имеет разработка методических подходов, позволяющих повысить достоверность определения пористости, проницаемости и неснижаемой водонасыщенности низкопроницаемых пород на основе комплексирования различных экспериментальных методов.

2. Достоверность и научная новизна результатов диссертации

Научная новизна работы определяется разработкой и апробацией методических решений, направленных на повышение достоверности петрофизических исследований низкопроницаемых коллекторов.

К числу наиболее существенных результатов следует отнести разработанную методику построения литолого-петрофизической модели порового пространства для изучения водной составляющей сложных ачимовских коллекторов.

Значимым научным результатом является уточнение типизации воды в поровом пространстве за счёт введения понятия капиллярно-сложноподвижной воды и экспериментального анализа её поведения при центрифугировании. Показано, что вода в этих порах при стандартном центрифугировании может сохраняться в образце и ошибочно интерпретироваться как остаточная. Результаты послойной ЯМР-спектроскопии использованы для подтверждения механизма такого поведения.

Научно и практически значимым является также совершенствование методики центрифугирования для карбонатных пород Восточной Сибири. Автором предложены

решения по учёту деформации кернодержателей, увеличению времени центрифугирования на максимальных оборотах и пересчёту результатов с учётом растворения водорастворимых солей. Методика апробирована на коллекции из 62 образцов с открытой пористостью $0,109 \div 0,262$ д. ед. и газопроницаемостью $(0,25 \div 1672) \cdot 10^{-3}$ мкм² при минерализации модели пластовой воды 519 г/л.

Достоверность полученных результатов обеспечена значительным объёмом экспериментальных исследований, комплексированием независимых методов и контролем автора при постановке, проведении и обработке экспериментов. В автореферате указано, что автор провел измерение водонасыщенности методом центрифугирования для 1014 образцов, а определения пористости и проницаемости проводились на значительно большем количестве образцов различного диаметра.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения и выводы диссертации в целом обоснованы совокупностью экспериментальных данных и результатами сопоставления различных методов исследования.

Первое защищаемое положение связано с повышением достоверности определения неснижаемой водонасыщенности на основании разработанной литолого-петрофизической модели и актуализации типизации вод в поровом пространстве. Его обоснованность подтверждается комплексом исследований ачимовских отложений и использованием взаимодополняющих методов изучения структуры порового пространства и распределения флюидов.

Второе защищаемое положение касается пересчёта фильтрационно-ёмкостных свойств с учётом растворения солей при лабораторных исследованиях пород, насыщенных водой с минерализацией более 300 г/л. Данный подход имеет существенное значение для корректной интерпретации экспериментальных данных по засолонённым карбонатным коллекторам.

Третье положение связано с повышением достоверности определения свойств пород с проницаемостью $(0,001 \div 1) \cdot 10^{-3}$ мкм² посредством совершенствования пробоподготовки, дополнительной герметизации образцов и предварительного тестирования.

В совокупности представленные результаты позволяют считать сформулированные положения достаточно обоснованными.

4. Ценность для науки и практики результатов работы

Теоретическая ценность диссертации заключается в развитии методических представлений о закономерностях распределения воды в сложном поровом пространстве низкопроницаемых коллекторов и о факторах, определяющих достоверность результатов лабораторных исследований.

Практическая ценность определяется возможностью применения разработанных решений при лабораторной оценке фильтрационно-ёмкостных свойств ачимовских, баженовских и доманиковых отложений, а также засолонённых карбонатных пород.

Особенно следует отметить результаты исследований низкой газопроницаемости. Для пород с проницаемостью $(0,001 \div 1) \cdot 10^{-3}$ мкм² автором предложены специальные решения, включающие использование тонких образцов, повышенных перепадов давления, нестационарных и псевдостационарных режимов, эпоксидной герметизации боковой поверхности и изготовления дублеров. Установлено, что существенными источниками неопределённости являются техническое состояние образца, микроскопические утечки, температурные колебания и длительный выход на режим фильтрации.

5. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 14 научных работах. В списке в автореферате приведено 13 публикаций (11 и 3 — это одна и та же работа), но оппонент знаком с еще одной работой диссертанта, которую можно включить в работу и которая соответствует теме диссертации [Борисов и др., 2022]. К сожалению, первая работа (из списка в автореферате) в список работ Рябухина А.Д. на сайте e-library.ru оппонентом не обнаружена. Работа группы ученых, в которую входил Антон Рябухин: «Best Practices for Designing High-Speed Centrifuge Capillary Pressure Experiments» <https://doi.org/10.2118/222535-MS> была представлена на ADIPEC, Abu Dhabi, UAE, November 2024 и опубликована SPE-222535-MS в ноябре 2024 года. Таким образом при требовании в 2 публикации диссертант опубликовал 3 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и одну в журнале SPE:

1. Швалюк Е., Чистяков А., Ба Н., Мухаметдинова А., Рябухин А., Спасенных М. Новый метод рок-типизации диагенетически преобразованных карбонатных пород. *Георесурсы*. 2023;25(4):203-218. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.4.15> (WOS - Q4, scopus – Q3)
2. Рябухин, А. Д. О влиянии термобарических факторов на остаточную водонасыщенность горных пород / А.Д. Рябухин // Наука и техника в газовой промышленности №1, 2023. - 7с. Категория в Перечне ВАК: 2
3. Борисов, А. Г. Развитие методического обеспечения измерений проницаемости доманиковых отложений / А. Г. Борисов, А. Д. Казаков, А. Д. Рябухин // Нефть. Газ. Новации. – 2022. – № 12(265). – С. 6-15. – EDN NCUZJM. Перечень ВАК: да (категория 3)

Результаты исследований докладывались на международных и российских научно-практических конференциях: SPE ADIPEC, BalticPetroModel, «Геомодель», «Геосочи» и специализированных конференциях и семинарах по проблематике петрофизического изучения коллекторов.

6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание представленного автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы. В автореферате отражены цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология, объём

выполненных исследований, защищаемые положения, результаты апробации и основные выводы.

В частности, содержание автореферата корректно отражает три основных направления исследования: повышение достоверности определения неснижаемой водонасыщенности сложных коллекторов, учёт растворения водорастворимых солей при петрофизических исследованиях, повышение достоверности определения свойств пород с низкой проницаемостью.

7. Замечания по работе

1. Представляется перспективным расширение экспериментальной проверки предложенной интерпретации результатов изменения водонасыщенности методом центрифугирования на коллекциях пород различного литологического состава и генезиса.

2. При дальнейшем развитии методики исследования низкопроницаемых пород целесообразно более подробно регламентировать критерии отбраковки образцов по результатам предварительного тестирования и количественно сопоставлять их с последующей воспроизводимостью измерений.

3. Замечание к рис.3 в автореферате, 4.13 в диссертации «Результаты подсчёта кажущейся минералогической плотности». На рисунке показаны распределения минералогической плотности, которые показывают принципиальное расхождение: по ГОСТу математическое ожидание составляет $\approx 2.76 \text{ г/см}^3$, а по новой методике $\approx 2.85 \text{ г/см}^3$. Однако никаких прямых доказательств корректности определения минералогической плотности не приведено. Можно было бы дать измерения пикнометрическим методом или привести результаты минералогических определений в шлифе или рентгено-фазовым методом, где показать, что основным карбонатным минералом являлся доломит.

4. Замечания к рис.6 в автореферате, 5.27 в диссертации «Сопоставление распределений диаметров поровых каналов, полученных по результатам ртутной порометрии и других методов». На рисунке видно значимое отличие кумулятивных кривых по ртутной порометрии и по ЯМР. Так как ЯМР измеряет физический сигнал, то оппоненту не понятно, почему результаты интерпретации ЯМР не были приведены к данным ртутной порометрии.

5. В качестве пожелания хотелось бы посоветовать развивать исследования в сторону влияния термобарических условий на результаты получения остаточной водонасыщенности.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости выполненного исследования.

8. Заключение

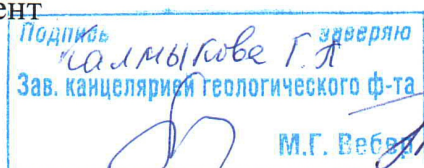
Диссертационное исследование Рябухина Антона Дмитриевича «Методики повышения точности определения коллекторских свойств низкопроницаемых пород нефтегазоносных пластов» является законченной научно-квалификационной работой, в

которой содержится новое решение научной задачи - повышение точности определения коллекторских свойств низкопроницаемых пород нефтегазоносных пластов, имеющей важное значение для геологии, поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук, согласно п. 2.2 раздела II Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого учёным советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Рябухин Антон Дмитриевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой нефтегазовой
седиментологии и морской геологии
(Геологический факультет) МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор геолого-минералогических наук (25.00.12),
доцент



Калмыков Георгий Александрович

Подпись Калмыкова Г.А. заверяю

119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 1, МГУ, Геологический факультет, кафедра нефтегазовой седиментологии и морской геологии, +7(495)939-29-70, g.kalmykov@oilmsu.ru