

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата технических наук Егоровой Алены Дмитриевны на тему
«Моделирование зон переходного насыщения углеводородами неоднородных
коллекторов путем комплексирования петрофизических исследований
образцов керна и интерпретации геофизических исследований скважин (на
примере карбонатных и терригенных отложений Западно-Сибирской и
Тимано-Печорской провинций)» по специальности
1.6.9 – Геофизика (технические науки)

Диссертация Алены Дмитриевны Егоровой посвящена особенностям моделирования переходных зон углеводородонасыщенности и применения капиллярных моделей. Объектами исследования являются продуктивные пласты Тимано-Печорской и Западно-Сибирской провинций. **Актуальность** выполненных исследований не вызывает сомнения и заключается в построении достоверных капиллярных моделей, связывающих капиллярные свойства пород с их геологическими особенностями. Работа объемом 107 страниц содержит введение, четыре главы и заключение, включает 13 таблиц и 71 рисунок. Список используемой литературы состоит из 103 наименований.

Работа реализована с учетом **фактического материала**, основу которого составили результаты комплексных петрофизических и литологических исследования керна по 15 месторождениям Тимано-Печорской и Западно-Сибирской провинции по 26 объектам подсчета запасов, данные геофизических исследований скважин, результаты испытаний и разработки исследуемых объектов.

В ходе исследования Егоровой А.Д. решались следующие основные задачи:

- Рассмотреть особенности расчета и применения капиллярной модели для моделирования переходных зон нефтяных залежей типа вода-нефть на примере карбонатных и терригенных отложений.
- Классифицировать обширные капилляриметрические исследования керна терригенных и карбонатных отложений изучаемых территорий.
- Установить взаимосвязь результатов капилляриметрических исследований и геологических особенностей изучаемых объектов и геологических параметров коллекторов.
- Разработать классификацию капиллярных моделей в соответствии со стратиграфической, литолого-фациальной принадлежностью пород, степенью сложности строения коллекторов и структурно-тектонической принадлежностью залежей.
- Разработать методику расчета коэффициента нефтегазонасыщенности по капиллярным моделям с учетом наиболее значимых классификационных признаков для обобщения капилляриметрических исследований керна.
- По результатам сравнения коэффициентов нефтенасыщенности (K_n) по электрическим и капиллярным моделям установить области применения основных моделей насыщенности.
- Разработать способ моделирования зон переходного насыщения в газонефтяных (нефтегазовых) залежах типа нефть-газ на основе соответствующих капилляриметрических исследований.

В результате исследований А.Д. Егоровой разработаны методики моделирования зон переходного насыщения углеводородами неоднородных коллекторов путем комплексирования петрофизических исследований образцов керна и интерпретации геофизических исследований скважин. Полученные классификационные критерии для типизации капиллярных моделей, методика выбора типа капиллярной модели с учетом выявленных геологических признаков и методика раздельного расчета коэффициентов нефте-, газо- и водонасыщенности в переходной зоне нефть-газ по

капиллярной модели характеризуют с **новой** позиции использование капиллярных моделей для расчета коэффициента нефтегазонасыщенности и моделирования зон углеводородонасыщенности.

Оценка содержания диссертации

Введение включает стандартный для диссертаций перечень ключевых разделов (актуальность, цель, задачи, новизна, защищаемые положения и др.).

В первой главе диссертации «Капиллярная модель расчета коэффициента нефтегазонасыщенности» приведены основные этапы и особенности построения капиллярных моделей. Отмечается, что капиллярная модель является многокомпонентной характеристикой геологического объекта. Данная модель включает в себя не только петрофизические свойства, но и многие геологические характеристики, свойства флюидов, особенности строения залежи. С ее помощью появляется возможность учета множества разнородных свойств объекта, изучить их влияние на такой важный параметр как коэффициент нефтенасыщенности

Вторая, третья и четвертая главы диссертации являются ключевыми, раскрывается суть проделанной работы. На основании этих глав формулируются защищаемые положения.

Вторая глава «Классификационные признаки для построения капиллярных моделей» посвящена вопросу геологических факторов, влияющих на вид капиллярных моделей. В результате обобщения и анализа комплексных исследований керна установлено, что наиболее существенными факторами, влияющими на вид капиллярных моделей, являются: тип и однородность структуры порового пространства; тип смачиваемости поверхности пор; фильтрационно-емкостные свойства пород; свойства флюидов. Литологическая принадлежность, минеральный состав скелета, фациальная и структурно-тектоническая зональность определяют и объясняют формирование главенствующих для капиллярной модели свойств пород.

Первое защищаемое положение. Предложены принципы классификации капиллярных моделей, позволяющие выбрать тип капиллярной модели для объектов Тимано-Печорской провинции и Западно-Сибирской провинции на основе интегрированного анализа больших объемов геолого-геофизической информации, математических методов решения прямых задач геофизики и исследования связей физических и геологических характеристик объекта.

Третья глава «Модели переходных зон вода-нефть». Разработана методика выбора капиллярной модели с учетом выявленных геологических признаков, позволяющая более корректно рассчитывать Кнг. Проведено опробование разработанных капиллярных моделей для оценки коэффициента нефтегазонасыщенности по ГИС и сравнение результатов со стандартной методикой Дахнова-Арчи, что позволило выявить степень достоверности рассчитываемых Кнг и сделать рекомендации о вариантах расчета коэффициента нефтегазонасыщенности – по капиллярным моделям или по электрической модели. В работе показано на конкретных примерах, что дифференциация капиллярных моделей с учетом различных геолого-петрофизических признаков, дает возможность получить более уверенное распределение водонасыщенности по разрезу скважин.

Второе защищаемое положение. Методика выбора типа капиллярной модели с учетом выявленных геологических признаков позволяет более корректно рассчитывать коэффициенты нефтегазонасыщенности в переходных зонах. Разработанные капиллярные модели позволяют связать физические капиллярные свойства горных пород и геологическую неоднородность разреза с результатами геофизических исследований скважин для обоснования строения залежей углеводородов и расчета коэффициента нефтегазонасыщенности.

В **четвертой главе** «Модели переходных зон нефть-газ» предложена петрофизическая модель газонефтяной переходной зоны по данным керна и ГИС, включающая вопросы оценки степени и характера насыщенности коллектора в газонефтяной зоне с использованием капиллярных моделей. В

основе предложенной модели лежат новые экспериментальные данные по моделированию насыщенности газ-нефть, при остаточной водонасыщенности на керне, в результате которых получена методика оценки размеров газонефтяной переходной зоны и распределения насыщенности флюидов.

Третье защищаемое положение. Методика отдельного расчета коэффициентов нефте-, газо- и водонасыщенности в переходной зоне нефть-газ по капиллярной модели на основе лабораторного петрофизического изучения капиллярных свойств горных пород в соответствующей пластовой системе.

Все защищаемые положения диссертационной работы надежно обоснованы. В целом работа выводит на новый уровень степень методической проработанности задачу определения насыщенности по капиллярным моделям для терригенных и карбонатных коллекторов различной фациальной природы и литологии. Предлагает набор методических решений для учета комплекса геологических и петрофизических факторов, влияющих на дифференциацию капиллярных свойств коллекторов.

Большой интерес представляет собой анализ входных параметров капиллярной модели с оценкой степени влияния на результирующий прогноз насыщенности.

Необходимо отметить большой объем фактических данных разных месторождений и коллекторов различного генезиса, использованный для подтверждения общих выводов в части моделирования нефтеводной переходной зоны.

Новым словом в области капиллярного моделирования является проработка вопросов в части особенности лабораторных капиллярных экспериментов и методического обеспечения для настройки моделей переходных зон «нефть-газ». Вместе с тем доказательная база для этих работ пока еще не очень обширна и вопрос моделирования нефтегазовых переходных зон требует дальнейшего изучения, развития и накопления

доказательных данных. Тем не менее, полученные наработки являются полезной основой для дальнейшего развития этого направления капиллярного моделирования.

Замечания к работе

1. Представляется целесообразным дать четкое определение остаточной водонасыщенности, поскольку даже в предполагаемой зоне предельного насыщения K_v продолжает медленно убывать по мере нарастания высоты залежи и капиллярного давления.
2. В работе широко используется понятие ВНК как некой выраженной границы. Вместе с тем, по опыту оппонента, в интервалах переслаивания коллекторов с различными ФЕС могут наблюдаться полосчатые зоны водо- и нефтенасыщенных коллекторов и четкий ВНК отсутствует. Рекомендуется в дальнейшем описать такие ситуации и дать им оценку в рамках теории капиллярных моделей. Также обсудить роль параметра «входного капиллярного давления» при формировании таких зон.
3. Зона ниже зеркала чистой воды характеризуется как стопроцентно водонасыщенная. Однако для залежей, испытавших циклы формирования и расформирования, ниже зеркала ЧВ могут наблюдаться зоны остаточного УВ-насыщения. Рекомендуется дать пояснения по этому вопросу.
4. В работе установлено, что одним из наиболее влияющих входных параметров капиллярных моделей является разница плотностей пластовых флюидов. Такие компоненты как межфазное натяжение и контактный угол влияют в меньшей степени. Однако представляется целесообразным продолжить работы по изучению их вариации для разных типов коллекторов и пластовых флюидов для дальнейшего использования индивидуальных величин для разных типов коллекторов вместо фиксированных справочных.

5. Подробно рассмотрен вопрос определения зеркала чистой воды путем «обратного отсчета» от положения ВНК. Как уже обсуждалось, определение ВНК в неоднородных коллекторах с ухудшенными ФЕС сопряжено с существенными неопределенностями. На практике этот уровень ЗЧВ часто находят путем итерационного подбора, добиваясь общего соответствия профилей K_v по капиллярной и электрической моделям.
6. В работе выполняется дифференциация капиллярных моделей по фациальным обстановкам, литотипам, минералогническому составу, структуре порового пространства и т.п. Логика такого деления вполне очевидна, возможно за исключением фациального деления. Это обусловлено тем, что фация может представлять собой широкий набор литотипов. При этом схожие литотипы могут встречаться в разных фациях. Все это будет приводить к нечеткой дифференциации капиллярных данных. Кроме того, выделять фациальные обстановки обычно принято не по отсечкам геофизических параметров, а по форме каротажных кривых.
7. В работе приводятся примеры применения капиллярных моделей для текстурно-неоднородных коллекторов (например, для викуловской свиты). При построении комплексной петрофизической модели таких объектов необходимо приводить все параметры к одному масштабу (т.е., четко оговорить какая петрофизическая модель используется: изотропно-гомогенного типа «традиционная» или гетерогенно-анизотропная – например, «микрослоистая»). Соответственно важно отслеживать как проведено исследование кернa. Убедиться в том, что не произошло статистического перекоса при отборе образцов только из песчаных слоев. Что может привести к тому, что, например, пористость и эффективная толщина будут определены со вкладом слоистой глинистости, а насыщенность по капиллярной модели

будем определена преимущественно для чистой песчаной компоненты.

8. В работе широко используется сравнение капиллярных моделей с электрическими (в том числе «специальными» для карбонатных коллекторов). Однако хорошо известно, что электрическая модель (даже «специального» вида) может сама характеризоваться существенными неопределенностями и являться не идеальной метрикой. В такой ситуации лучше использовать данные керн с сохранным насыщением для верификации как электрической, так и капиллярной моделей. К сожалению, роль керн с сохранным насыщением не подчеркивается в работе и данные не представлены в достаточном объеме. Что, по всей видимости, обусловлено нехваткой такой информации в использованной выборке данных и их общей недостаточностью на месторождениях с большой историей разработки.
9. Одним из наиболее интересных элементов работы является моделирование переходной зоны «нефть-газ». В качестве доказательной базы приводятся немногочисленные результаты испытания MDT. Эти результаты тоже могут быть неоднозначными в относительно тонких предполагаемых газонефтяных переходных зонах. Для общей убедительности было бы целесообразно подтвердить оценки K_v , K_g и K_n по капиллярной модели данными специальных исследований керн с сохранным насыщением и результатами интерпретации специальных методов ГИС.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки), а также

критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Егорова Алена Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика (технические науки).

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,

начальник управления научно-технического развития и технических данных

ООО «Сахалинская Энергия»

ХАБАРОВ Алексей Владимирович

21.09.2023г.

Контактные данные:

тел.: [REDACTED], e-mail: alexey.a.khabarov@sakhalin2.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Адрес места работы:

693020, Южно-Сахалинск, ул. Чехова, 78

Тел.: +7 4242 66 2000; e-mail: ask@sakhalin2.ru

Вернись А.В. Хабаров
заверяю
зам. технического директора
В.В. Флаков



