

О Т З Ы В

официального оппонента: профессора кафедры геофизики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», доктора технических наук, профессора КОСТИЦЫНА Владимира Ильича на диссертационную работу **ПОТЕХИНА Дениса Владимировича** «Разработка методологии многовариантного геологического 3D моделирования нефтяных залежей», представленную к защите в диссертационный совет ПНИПУ 05.15 на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.6.11. - Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Актуальность темы диссертации

Тема диссертационной работы Потехина Д.В. ориентирована на повышение достоверности 3D геологической модели на двух этапах построения: литолого-фациального и петрофизического.

В настоящее время выполнять проектирование и обоснование производственных решений выполняется на цифровых прототипах, что предусматривает построение геологических 3D-моделей эксплуатационных объектов. На этапе литолого-фациального моделирования прогноз распределения литологических типов пород осуществляется на основе методов интерполяции с применением как детерминистических, так и стохастических подходов. Освещенность изучаемых объектов характеризуется неоднородностью и неопределенностью как по латерали, так и по глубине исследований. Геологическое строение месторождения наиболее полно изучается в основном косвенными методами, которые настраиваются на прямые исследования (кern, испытания скважин). В связи с этим основной входной информацией при моделировании являются данные геофизических исследований скважин и 3D сейсморазведки. Данные методы характеризуются различной разрешающей способностью, погрешностью и

объемом исследований в 3D-пространстве. В результате существующая неоднородность геологического строения залежи характеризуется недоученностью, которую можно разделить на два вида неопределенности: первого рода, связанную с представительностью исследования месторождения (неравномерная плотность сетки скважин и сейсмических наблюдений и т.д.), и второго рода, которая связана с подбором методов и настроек алгоритмов моделирования, в том числе интерполяции. При построении модели происходит использование всех исходных данных. Инструментом комплексирования являются настройки интерполяторов, применяемых при построении геологической модели. При разных настройках интерполяторов нередко получают диаметрально противоположные геологические модели. В диссертационной работе разработана методология выбора оптимальных настроек многовариантного моделирования с использованием методов математического анализа, планирования эксперимента и теории многокритериальной оптимизации.

На этапе петрофизического построения геологической модели, значительно влияющих на достоверность геолого-технологического моделирования, является достоверный прогноз строения водонефтяной переходной зоны. Моделированием распределения нефтенасыщенности занимаются многие ученые. Судя по публикациям, автор диссертации занимается данным вопросом, начиная с 2004 года.

Разработка методологии построения 3D-распределения нефтенасыщенности в пределах переходной зоны по данным комплексирования исследований керн и геофизических методов поставлена отдельной научной задачей диссертации. Исходной информацией для ее решения является комплексный учет результатов капилляриметрических исследований керн, фильтрационно-емкостных свойств и определений удельного электрического сопротивления пород. При этом в качестве основного критерия, контролирующего подъем воды по капиллярным каналам в пределах переходной зоны, использован комплексный показатель

квадратного корня отношения проницаемости пород к их пористости, который для идеальной пористой среды характеризует радиус капиллярных каналов.

В диссертационной работе проанализированы процессы вторичных изменений, проходящих в водонефтяной зоне, в том числе связанные с повышением вязкости пластовой нефти в связи окислением нефти, а также геохимических процессов, приводящих к вторичным изменениям карбонатных пород. Проанализировано пространственное распределение фильтрационно-емкостных свойств различных литотипов пород, воссозданных с помощью технологии нейронных сетей. Изучены особенности пространственного распределения динамической вязкости пластовой нефти, обусловленного физико-химическими процессами взаимодействия флюидов в водонефтяной зоне карбонатного пласта, а также проведенное с использованием технологии нейронных сетей. Это способствует повышению точности геологической модели.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Текст изложен на 377 стр. машинописного текста, иллюстрирован 135 рисунками, 37 таблицами. Список литературы включает 270 наименований.

В целом содержание автореферата соответствует положениям текста и выводам диссертации.

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, и выводов, и рекомендаций, представленных автором в диссертационной работе, связана с привлечением значительного объема геолого-геофизических данных и их обработкой с использованием методов математической статистики, теории планирования эксперимента, многофакторной/многокритериальной

оптимизации и технологий машинного обучения. Обоснование методики выбора оптимальных реализаций геологической 3D-модели на основе многокритериальной оптимизации подтверждается сходимостью с результатами геолого-геофизических и промысловых исследований.

Разработанные статистические 3D-модели распределения нефтенасыщенности с учетом строения переходной зоны характеризуются достаточными значениями показателей качества моделирования оцениваемых показателей как для терригенных, так и для карбонатных пород-коллекторов месторождений Пермского края и Республики Коми.

Основное содержание работы

В работе обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цели работы и задачи исследования, представлена научная, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, защищаемые положения, степень достоверности, апробация результатов исследований и основные публикации.

Автором проанализирован опыт применения многовариантного 3D-моделирования нефтяных залежей. Изучены существующие методы многовариантного геологического моделирования, существующие подходы и проблемы по выбору вариантов геологического строения. Рассмотрены методы планирования эксперимента для выбора достоверных реализаций, использована многокритериальная оптимизация.

В работе выполнено научное обоснование технологии выбора оптимальных реализаций при многовариантном геологическом 3D-моделировании, задачей которого является построение достоверной основы для проведения геолого-гидродинамических расчетов при проектировании разработки нефтяных месторождений

В диссертации разработана и реализована методика моделирования нефтенасыщенности с учетом переходной водонефтяной зоны на основе

трехмерной функции по материалам исследований керна и показаний удельного электрического сопротивления при 3D-моделировании нефтенасыщенности коллекторов.

Автором выполнено построение и анализ 3D-моделирования распределения коллекторских свойств и вязкости нефти на основе технологии машинного обучения, рассмотрены вопросы изменения зон геохимической зональности, возникающих при изменении флюидонасыщенности нефтяной залежи. Особое внимание уделено формированию зоны цементации в карбонатных коллекторах, связанной с вторичной карбонатизацией пород коллекторов.

Научная новизна

В ходе исследования автором получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- Разработаны критерии, позволяющие выбирать оптимальные реализации на этапах литолого-фациального и петрофизического моделирования геологической 3D-модели залежей нефти;
- Разработана технология, позволяющая выбирать наиболее достоверные геологические модели залежей нефти и более точно прогнозировать начальные геологические запасы углеводородного сырья при использовании многовариантного 3D-моделирования;
- Оптимизированы методы построения 3D-моделей распределения нефтенасыщенности с учётом переходной зоны на основе методов геофизических исследований скважин (ГИС) и капилляриметрических исследований керна.

Практическая ценность и результаты диссертационной работы

- Выполнено формирование процесса многовариантного геологического моделирования залежей нефти на этапах литолого-фациального и

петрофизического проектирования на основе метода многокритериальной оптимизации. Разработаны критерии выбора оптимальных реализаций при построении литолого-фациальных, петрофизических моделей при геостохастическом моделировании.

- Оптимизированы существующие методы прогноза 3D-распределения переходной водонефтяной зоны (высоты над уровнем свободного насыщения – $H_{у\text{св}}$) по данным комплексирования методов ГИС и капилляриметрических исследований керна. Для повышения аппроксимации трехмерной математической модели переходной зоны обосновано использование комплексного показателя $\sqrt{(k/K_{п})}$, характеризующего для идеальной пористой среды радиус капиллярных каналов. На основе трехмерной математической модели $K_{в} = f(\sqrt{k/K_{п}}, H_{у\text{св}})$ выполнен анализ зон с различной водонасыщенностью.

- Разработана методика, позволяющая установить уровень свободного водонасыщения по данным удельных электрических сопротивлений (УЭС) в геологической 3D-модели залежи путем сопоставления модельных значений переходной зоны на разных уровнях с результатами интерпретации методов УЭС, а также анализа результатов накопленной корреляции данных УЭС и коэффициента водонасыщенности ($K_{в}$) по разрезу залежи.

- Построены 3D-модели строения переходной водонефтяной зоны Аспинского (пласты Т1а, Бб1, Бб2), Уньвинского (пласты Бш-Срп, Т-Фм) нефтяных месторождений Пермского края и пермокарбоновой залежи Усинского месторождения Республики Коми на основе разработанных математических моделей.

- Для программного комплекса создания трехмерных геологических моделей нефтяных залежей IRAP RMS создан функциональный модуль, представляющий собой набор скриптов, позволяющий реализовывать многовариантное геологическое 3D-моделирование с контролем качества реализаций сейсмических и геолого-геофизических данных

- Разработаны многовариантные геологические 3D-модели, позволяющие выполнить выбор достоверного прогноза строения нефтяных залежей нефти Пермского края: Аспинского (пласты Т1а, Бб1, Бб2), Сосновского (пласты Т1а, Бб1, Бб2, Т), Стретенского (пласты Бш, Т1) и месторождения Республики Коми: пермокарбоновой залежи Усинского месторождения. Усовершенствованные геологические 3D-модели позволили уточнить детализацию строения нефтяных залежей с использованием полученных результатов для подсчета запасов углеводородов и при выполнении геолого-технологического моделирования разработки месторождений.

- Выполнено объемное распределение водонасыщенности для залежей визейских терригенных (пласты Т1а, Бб1, Бб2) и турнейских карбонатных отложений (пласт Т) Аспинского месторождения, Бш-Срп карбонатных отложений Уньвинского месторождения Пермского края, а также карбонатных отложений пермокарбоновой залежи Усинского нефтяного месторождения Республики Коми.

- Выполнено выделение литологических типов пород и построена 3D-модель распределения литологических разностей пермокарбоновой залежи Усинского нефтяного месторождения на основе метода обучения нейронной сети по скважинным данным. Построены 3D-модели изменения раскрытости и плотности трещин, трещинной проницаемости и прогноза изменения вязкости с учетом содержания высоковязкой нефти для пермокарбоновой залежи Усинского нефтяного месторождения.

Апробация работы и публикации по теме исследования

Основные положения диссертационной работы докладывались: на международной научно-практической конференции «Чтения Хошбахта Юсифзаде. Нефтегазоносность и геоэкологические проблемы Каспийского региона», г. Баку, 4–5 декабря 2024 г.; научно-практической конференции

«Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий» Баку, Азербайджан, 2023 г.; Всероссийской научно-практической конференции, Архангельск, 2023 г.; научно-практической конференций журнала «Нефтяное хозяйство», 2018 г., Geomodel 2016 – 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development; международной научно-практической конференции EAGE, 2016 г., Scientific-practical conference on oil and gas geological exploration and development, 2015 г.; международной научно-практической конференции «Нефтегазовая геология и геофизика», Калининград, 2014 г.; международной научно-практической конференции «Прогноз и разработка нефтегазоперспективных месторождений НК «ЛУКОЙЛ»», 2014 г.; VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геология в развивающемся мире», Пермь, 2014 г.; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения А.К. Урупова, Пермь, 2013 г.; международной конференции «Инновационные сейсмические технологии и подсчет запасов нефти и газа», Москва, 2013 г.; конференции «Новейшие технологии в нефтегазовой отрасли» в рамках Первого Пермского нефтегазового форума, Пермь, 2013 г.; IV Российской конференции пользователей компании ROXAR, Москва, 2003 г.; научно-практической конференции ОАО «СибНИИНП» «Проблемы развития нефтяной промышленности Западной Сибири», Тюмень, 2003 г.

Замечания по работе

1. На взгляд рецензента, диссертацию и особенно автореферат следовало писать по защищаемым положениям. Тогда работа была бы лучше структурирована и было бы ясно – какую задачу решает соискатель в каждой главе. Иначе оказалось, что в четвертой главе описаны результаты двух защищаемых положений. В разделе «Основные выводы и результаты работ»

нет обобщающего ответа на первую поставленную задачу и первое защищаемое положение, хотя во второй главе критерии подробно описаны.

2. Защищаемые положения следовало сформулировать более четко. Положение должно начинаться с **результата** (методология, критерии, модель, технология, методика, способ), основанного на таком то принципе или отличается от аналогов тем то, который позволяет решить следующую технологическую, техническую или геологическую задачу. Необходимо было исключить словосочетание «с целью» во втором, третьем и четвертом защищаемом положении, а заменить синонимом «для». В диссертации одна **цель**: это «разработка методологических подходов по повышению качества и достоверности создания трехмерной геологической модели залежей путем оптимизации этапов литолого-фациального и петрофизического построения цифрового прототипа геологического строения».

3. В работе следовало полнее рассмотреть связи геологических характеристик объекта с выбором оптимальных откликов.

4. Реализованные критерии, входящие в многокритериальную оптимизацию, показаны на примере распределения коллекторов, фациальных зон и литотипов пород. Возможно ли применение разработанных критериев для поиска вариантов при построении модели трещин?

5. В работе выполнено большое количество расчетов на аналоге программного продукта геологической модели RMS Aspen, что затрудняет проверку результатов. Есть ли возможность реализовать разработанные методические подходы по многовариантному моделированию в других программных продуктах, в том числе отечественного производства?

6. В «Списке опубликованных работ» автореферата следовало указать вклада соискателя в процентах по каждой статье, так как большая часть работ написана в соавторстве. Не понятно выделение соискателем подразделов «Прочие публикации» и «Публикации в других изданиях»? А также, почему статья № 19 не включена в «Основные публикации», хотя

опубликованные статьи в журнале «Экспозиция. Нефть. Газ» учитываются по специальности 1.6.11 (технические науки)?

7. Хотелось бы понять: как можно проверить достоверность полученных уравнений в таблице 2, а также формул (13, 14, 15)?

8. Текст диссертации следовало лучше отредактировать, имеются стилистические ошибки. В диссертации оформлены не по правилам: текстовая часть перед формулами, сами формулы и условные обозначения (например, формулы 1.9, 1.10, 1.15, 1.20 и др.), а также список литературы (№ 102, 105-108, 113-121, 129, 161-163, 192, 193, 196, 198, 205, 206, 209-212, 260-262, 264 и др.).

Отмеченные замечания имеют частный характер и не снижают общей положительной оценки выполненного исследования. Считаю, что диссертационная работа Д.В. Потехина является реальным вкладом в развитие литолого-фациального и петрофизического этапов построения 3D геологической модели.

Заключительная оценка

Диссертационная работа Потехина Дениса Владимировича представляет собой завершённое научное исследование, в котором представлено новое решение проблемы разработки методологии выбора реализаций при многовариантном геологическом 3D-моделировании нефтяных залежей и процесса моделирования нефтенасыщенности на этапе петрофизического моделирования.

В целом, диссертационная работа Потехина Д.В. соответствует требованиям, установленным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (п. 9-14), соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

утвержденного приказом ректора от 28.05.2024 г. № 27-О, предъявляемым к диссертациям на соискание ученых степеней и Потехин Денис Владимирович заслуживает присуждение учёной степени доктора технических наук по специальности 1.6.11 - Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Официальный оппонент:

профессор кафедры геофизики

ФГАОУ ВО «Пермский государственный

национальный исследовательский

университет», доктор технических наук по специальности

04.00.12 «Геофизические методы поисков и разведки

полезных ископаемых», профессор

Костицын Владимир Ильич



«18» сентября 2025 г.

Я, Костицын Владимир Ильич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись В.И. _____ В.И. Костицына удостоверяю:

Ирина Сергеевна

И. Антонова

Сведения о лице, подписавшем _____

Костицын Владимир Ильич;

Специальность: 25.00.10 - Геофизика, Геофизические методы поисков полезных ископаемых;

Организация: ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»;

Должность: профессор кафедры геофизики;

Почтовый адрес организации: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

Сайт организации: <http://psu.ru>

Контактный телефон: +7 902 472 35 73

E-mail: kostitsyn@psu.ru

