

МАРКЕЛОВА АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА

**НЕОДНОРОДНОСТИ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ЮРСКОЙ СИСТЕМЫ
ШАИМСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА И МЕТОДЫ ИХ УЧЁТА ПРИ
МОДЕЛИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Специальность 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2025

Работа выполнена на кафедре недропользования и нефтегазового дела инженерной академии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы» (РУДН).

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук (1.6.11), доцент, **Страхов Павел Николаевич**, профессор кафедры недропользования и нефтегазового дела ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук (25.00.12), доцент, **Шустер Владимир Львович**, главный научный сотрудник института проблем нефти и газа Российской академии наук

кандидат геолого-минералогических наук (25.00.06), доцент, **Журавлева Лилия Маратовна**, доцент кафедры литологии Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина

Ведущая организация: АО «Центральная геофизическая экспедиция»

Защита состоится «24» сентября 2025 г. в 15 часов 00 мин. на заседании постоянно действующего диссертационного совета ПДС 2022.014 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: г. Москва, ул. Орджоникидзе, д.3., ауд. 368.

С диссертацией можно ознакомиться в Учебно-научном информационном библиотечном центре (Научной библиотеке) при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Объявление о защите и автореферат диссертации размещены на сайтах <https://www.rudn.ru/science/dissovet/dissertacionnye-sovety/pds-2022014> и <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ПДС 2022.014
кандидат геолого-минералогических наук

В.М. Бугина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Исследование характера изменчивости коллекторских свойств имеет важное значение для Шаимского нефтегазоносного района, большая часть месторождений которого имеет длительную историю разработки. По существу, их можно классифицировать как объекты с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов, что существенно осложняет их эксплуатацию, что определяет необходимость повышения требований к информации о геологическом строении продуктивных отложений. В первую очередь это относится к изучению неоднородностей коллекторских свойств. Объективно возникает необходимость, как в модернизации методик анализа, так и учёта характеров изменчивости данных параметров при построении геологических и гидродинамических моделей, а также при оценке запасов нефти и газа.

Степень научной разработанности. Существенный вклад в изучение геологического строения и перспектив нефтегазоносности Шаимского нефтегазоносного района внесли множество научно-исследовательских и производственных организаций, а также ученых-исследователей, среди которых А.Э. Конторович, В.А. Конторович, В.Г. Криночкин, В. П. Алексеев, С. Р. Бембель, В.Б. Белозеров, В.С. Бочкарев, И.М. Губкин, Ф. Г. Гурари, В.И. Ермаков, Е.Т. Журавлев, Н.П. Запивалов, А.М. Казаков, И.И. Нестеров, В.С. Сурков, А.В. Шпильман, и другие. В разное время учеными были рассмотрены и изучены вопросы, относящиеся к уточнению структурно-тектонического и литологического строения, а также рассмотрены вопросы по изучению нефтегазоносности рассматриваемой территории. Несмотря на обширные исследования в данном районе, реализованные проекты по изученности территории ввиду сложности горно-геологического строения носят преимущественно региональный характер, что дает общее представление о строении территории и перспективах нефтегазоносности. Следует отметить, что недостаточное внимание уделялось изучению коллекторских свойств и функциональных неоднородностей, при этом проведенные геофизические исследования скважин (ГИС) и кернового материала носят локальный характер для залежей внутри участков месторождений.

Объект исследования: юрские отложения Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Предмет исследования: фильтрационные и емкостные свойства коллекторов терригенных отложений, изучение неоднородностей коллекторских свойств.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью работы является оценка характера изменчивости коллекторских свойств для повышения надёжности геологических моделей и оценки запасов углеводородов залежей, приуроченных к отложениям юрской системы Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Для достижения вышеуказанных целей в рамках диссертационного исследования были поставлены следующие научные задачи:

1. Уточнение геологического строения юрских отложений Шаимского нефтегазоносного района.
2. Исследования явных и функциональных неоднородностей фильтрационно-ёмкостных свойств и остаточной водонасыщенности продуктивных отложений.
3. Разработка вероятностного метода построения фильтрационных моделей.
4. Разработка новых принципов построения модели остаточной водонасыщенности продуктивных пластов (коэффициентов нефтегазонасыщенности залежей).
5. Проведение дифференциальной оценки запасов пород различных классов проницаемости.
6. Анализ неоднородностей свойств углеводородов.

Научная новизна:

1. Впервые разработана вероятностная методика расчёта гистограмм проницаемости при построении геологических моделей;
2. Впервые разработана вероятностная методика расчёта гистограмм остаточной водонасыщенности при построении геологических моделей, которые являются основой определения коэффициента нефтенасыщенности залежей углеводородов;
3. Выявлены благоприятные зоны для формирования ловушек литологического типа;
4. Впервые разработана и апробирована на ряде месторождений методика дифференциальной оценки запасов коллекторов различных классов проницаемости;
5. Обоснована тенденция улучшения проницаемости более древних отложений при сопоставлении образцов с одинаковой пористостью.

Теоретической основой диссертационного исследования явились труды советских/российских ученых А.Э. Конторовича, В.А. Конторовича, В.Г. Криночкина, В.П. Алексеева, С.Р. Бембея, В.Б. Белозерова, В.С. Бочкарева, В.И. Ермакова, Е.Т. Журавлева, Н.П. Запывалова, А.М. Казакова, И.И. Нестерова И.М. Губкина, Ф.Г. Гурари, В.И. Ермакова, Е.Т. Журавлева и др.

Теоретическая ценность научной работы и практическая значимость. *Теоретическая ценность работы* заключается в обобщении и систематизации геологических материалов и результатов исследований коллекторских свойств, позволивших выявить зависимости, которые способствуют приращению научных знаний о сложно построенных геологических объектах.

Практическая значимость работы заключается в выявлении явных и функциональных неоднородностей терригенных отложений юрской системы с целью повышения

информативности моделей фильтрационной нефтегазонасыщенности залежей углеводородов для прогнозирования зон как с улучшенными, так и ухудшенными коллекторскими свойствами.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается использованием общепринятых современных методов и методик, сформулированных в трудах российских и зарубежных ученых по исследованию неоднородностей коллекторских свойств.

Методология и методы исследования. Поставленные задачи решались на основе комплексного анализа геолого-геофизических данных, которые послужили основой для применения статистических и вероятностных методов для выявления явных и функциональных неоднородностей фильтрационно-емкостных свойств продуктивных отложений.

Фактический материал. Проанализировано строение 41 месторождения по свойствам углеводородов и средним фильтрационно-ёмкостным параметрам. Исследованы результаты исследований керна и интерпретации ГИС по 108 скважинам. Обобщены результаты определений (по керну) пористости – 18 196 образцам, проницаемости – 10 852 образцам, остаточной водонасыщенности – 8 756 образцам по 130 скважинам. Сбор фактического материала осуществлялся в Российском федеральном геологическом фонде (Росгеолфонд) и библиотеках.

Положение, выносимые на защиту:

1. Система построения фильтрационных моделей продуктивных терригенных отложений на основании автоматизированного расчёта гистограмм проницаемости каждой ячейки с помощью вероятностных методов обработки результатов петрофизических данных.
2. Система построения моделей остаточной водонасыщенности продуктивных терригенных отложений (коэффициентов нефтегазонасыщенности залежей) на основании вероятностных методов обработки результатов петрофизических данных.
3. Характер распространения коллекторов различных классов и дифференцированная оценка запасов залежей углеводородов Шаимского нефтегазоносного района, выполненные на основании анализа явных и функциональных неоднородностей коллекторских свойств юрской системы.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует пунктам 1-3 паспорта специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Личный вклад автора. Осуществлён сбор и обобщение геолого-геофизических материалов. Разработана методология автоматизированного вычисления гистограмм проницаемости и остаточной водонасыщенности для каждой ячейки модели и выполнение соответствующих расчётов для исследуемых месторождений. Проведён анализ явных и

функциональных неоднородностей коллекторских свойств отложений юрской системы. Осуществлена дифференциальная оценка запасов для пород различных классов проницаемости по ряду залежей углеводородов.

Степень достоверности и апробации работы. По теме диссертационной работы опубликовано 15 научных трудов, из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 4 публикации в журналах, индексируемых в международных базах цитирования (WoS, Scopus), 1 статья опубликована в других изданиях, 3 доклада, представленных на научных конференциях, зарегистрирована 1 программа для ЭВМ и 2 базы данных.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, д.г.-м.н., профессору Страхову П. Н. за всестороннюю поддержку на всех этапах написания научной работы, а также всем сотрудникам кафедры недропользования и нефтегазового дела РУДН.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы основные цели и задачи, отражены степень разработанности, научная новизна, методология и методы исследования, приведены защищаемые положения, обоснована практическая и теоретическая значимость работы.

Глава 1. Геолого-геофизическая характеристика района. Шаимский нефтегазоносный район Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции давно находится в сфере интересов нефтегазовой геологии. Залежи региона имеют различную историю и длительность эксплуатации. Освоение многих началось еще в начале 60-х годов 20 века (центральная и южная части района), другие разведаны и вступили в эксплуатацию относительно недавно (северная часть района) (Рис 1а).

Продуктивность юрской системы связана с отложениями верхнего и среднего отдела, которые представлены в основном песчаниками, алевролитами, аргиллитами, так же встречаются прослой углей, сидеритов, конгломератов и гравелитов (Рис 1. б). В разрезе Шаимского района залежи углеводородов, приурочены к юрским отложениям абалакской, тюменской свит.

В тектоническом плане исследуемая территория расположена в Шаимско-Кузнецовской формационной зоне вблизи сочленения Приуральской моноклизы Внешнего пояса плиты и Мансийской гемисинеклизы Центральной мегатеррасы и структур I порядка: Шаимского мегавала, Верхнекондинской и Шеркалинской зон мегапрогибов. В пределах площади выявлено 45 структур III и IV порядков.

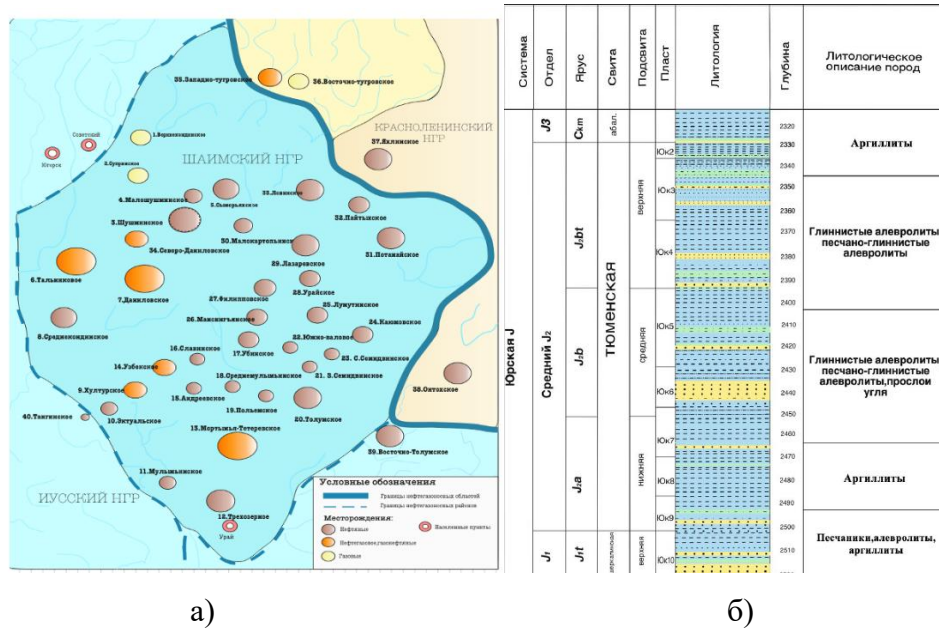


Рисунок 1 – а) Обзорная карта района; б) Литолого-стратиграфический разрез тюменской свиты зоны сочленения Шаимского и Красноленинского НГР

Глава 2. Характеристика продуктивных горизонтов района работ. В главе представлена характеристика продуктивных отложений доюрского и юрского комплексов рассматриваемого района. Возникшие сложности при освоении доюрского комплекса обусловлены низкой успешностью поисковых работ на нефть и газ. Это вызвано тем, что контуры залежей нефти и газа контролируются не только структурным фактором. Наряду с тектоническим фактором влияние на формирование границ ловушек оказывают неоднородности коллекторских свойств пород, залегающие в верхней части доюрского комплекса.

В составе разреза среднеюрского отдела особый интерес представляет тюменская свита, верхнеюрского – абалакская (васюганская) свита. Продуктивные отложения изучены по керну, отобранному из поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, пробуренных на месторождениях. Всего по региону и прилегающим территориям изучено и проанализировано порядка 41 месторождения. Рассматриваемые терригенные отложения охарактеризованы сравнительно хорошими значениями коллекторских свойств (рис. 2-3).

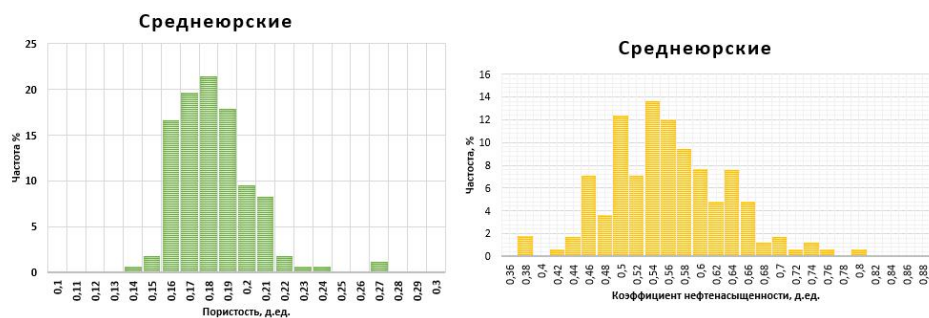


Рисунок 2 – Гистограммы пористости и нефтенасыщенности среднеюрских отложений

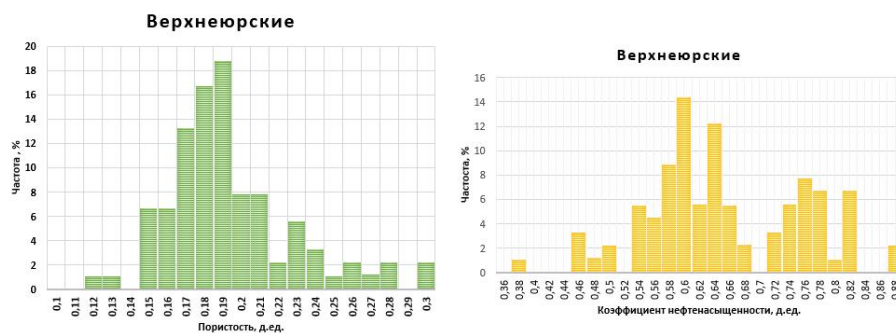


Рисунок 3 – Гистограммы пористости и нефтенасыщенности верхнеюрских отложений

Глава 3. Вероятностные методы расчёта петрофизических свойств в ходе геологического моделирования. В главе представлена методология оценки фильтрационных свойств на основании использования вероятностных методов и принципы их автоматизации. В настоящее время существуют два способа оценки проницаемости отложений: по результатам гидродинамических исследований скважин, и по результатам изучения керна в лабораторных условиях. Первый способ характеризуется ограниченным количеством объектов изучения, второй – сложностью оценки фильтрационных свойств пластов по эмпирическим зависимостям между значениями ёмкостных и фильтрационных свойств образцов. Использование рассматриваемых соотношений между данными параметрами способствует появлению существенных погрешностей – фиксируется слишком большой разброс значений (рис.4).

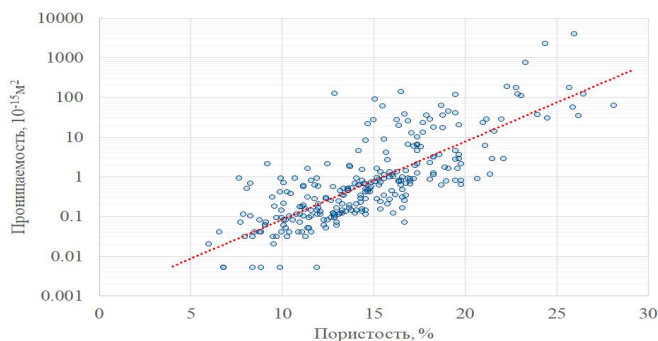


Рисунок 4 – Соотношение пористости и проницаемости пород тюменской свиты Даниловского месторождения

При проведении исследования за основу было взято положение, что связь между возможностью формирования фильтрующей системы в образце и пористостью имеет вероятностный характер. В частности, среди коллекции керна нижнемелового отдела Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, представленного терригенными породами, встречаются образцы с небольшими значениями ёмкостных свойств (6-7%), которые имеют проницаемость больше кондиционных значений, и наоборот, фиксируются практически непроницаемые разности, пористость которых составляет 10-15%. Таким образом, при принятии определённого критического значения пористости, по которой делается отсечка в модели при выделении коллекторов, получается, что будет исключена из пласта часть

проницаемых пород, а также к фильтрующим разностям будут отнесены отложения, не имеющих дренирующие системы. В свою очередь это приведёт к неправильному прогнозу характера движения флюидов в пласте, что негативно повлияет на эффективность воздействия на залежь. Для решения данной проблемы предлагается автоматизированный метод оценки проницаемости на основании использования вероятностных функций.

Первый этап – в начале работы выполнен анализ результатов изучения пористости и проницаемости пород, выполненных в лабораторных условиях (фильтрационно-емкостных свойств образцов керна). **Второй этап** – полученные данные были сгруппированы по их ёмкостным свойствам. Интервал изменения пористости составил 1%. Таким образом, была охарактеризована вся коллекция образцов. За основу взята классификация коллекторов, предложенная Ханиным А. А. в 1969г. (6 классов коллекторов). В пределах рассматриваемой территории Шаимского нефтегазоносного района выделено в основном 4 класса коллектора: 3 (проницаемость от 100 до 500 10^{-15}м^2), 4 (от 10 до 100 10^{-15}м^2), 5 (от 1 до 10 10^{-15}м^2) и 6 (от 0,1 до 1 10^{-15}м^2). **Третий этап** – расчет вероятности превышения определённого порогового значения по проницаемости по формуле 1 (аппроксимации зависимости для каждой совокупности классов).

$$P_K^k = 1 - \exp[-\exp(A \times K_{\pi}^k - B)] \quad (1)$$

P_K^k – вероятность отнесение образца к коллекторам, д. ед.;

K_{π}^k – пористость, определенная по керну, д. ед.,

A, B – коэффициенты пропорциональности.

Ввиду сложности строения пласта в отличие от единичного образца фильтрационно-емкостные свойства в его составе не характеризуются постоянством как по площади, так и по разрезу. Для адаптации исследуемых зависимостей при изучении отложений в масштабе пласта и ячейки геологической модели предлагается использовать метод Монте-Карло. Целесообразно представить пласт как совокупность бесконечно большого количества образцов, пористость которых будет задана с помощью генератора случайных чисел. При этом необходимо соблюдать некоторые условия: а) средняя пористость каждой условной выборки равна пористости соответствующей ячейки геологической модели; б) коллекция виртуальных образцов ячейки охарактеризована логнормальным распределением пористости; в) отклонение пористости коллекции виртуальных образцов не превышает половину значения, принятого для соответствующей ячейки геологической модели. **Четвертый этап** – определение эмпирических зависимостей вероятности превышения необходимых критических значений ёмкостных свойств от пористости ячейки геологической модели, которые аппроксимируются по формуле 2.

$$P_K^{\Pi} = 1 - \exp \left[- \exp \left(A_1 \cdot K_{\text{пор}}^2 + B_1 \cdot K_{\text{пор}} + C \right) \right] \quad (2)$$

P_K^{Π} – вероятность существования проницаемости пласта не менее порогового значения для соответствующей совокупности классов, д. ед.;

$K_{\text{пор}}$ – пористость пласта, д. ед.;

A_1, B_1, C – коэффициенты пропорциональности.

В результате появляется возможность пересчёта куба пористости геологической модели.

Пятый этап – расчет частоты встречаемости каждого класса коллекторов по формуле 3 (пересчет куба пористости).

$$P_{K_{\text{пор_яч}_i}}^N = P_{K_{\text{пор_яч}_i}}^{1-N} - P_{K_{\text{пор_яч}_i}}^{1-(N-1)} \quad (3)$$

$P_{K_{\text{пор_яч}_i}}^N$ – частота встречаемости (вероятность существования) коллектора N-го класса в i-ой ячейке, д. ед.;

$P_{K_{\text{пор_яч}_i}}^{1-N}$ – частота встречаемости (вероятность существования) коллекторов 1-N классов в i-ой ячейке, д. ед.;

$P_{K_{\text{пор_яч}_i}}^{1-(N-1)}$ – частота встречаемости (вероятность существования) коллекторов 1-(N-1) классов в i-ой ячейке, д. ед.

Необходимо определить разность функций распределений соседних групп классов. Таким образом, можно рассчитать вероятность формирования коллектора определённого класса интересующей ячейки с определённой пористостью. В результате создана основа для расчёта гистограмм проницаемости для каждой ячейки геологической модели определенного класса проницаемости (рис.5).

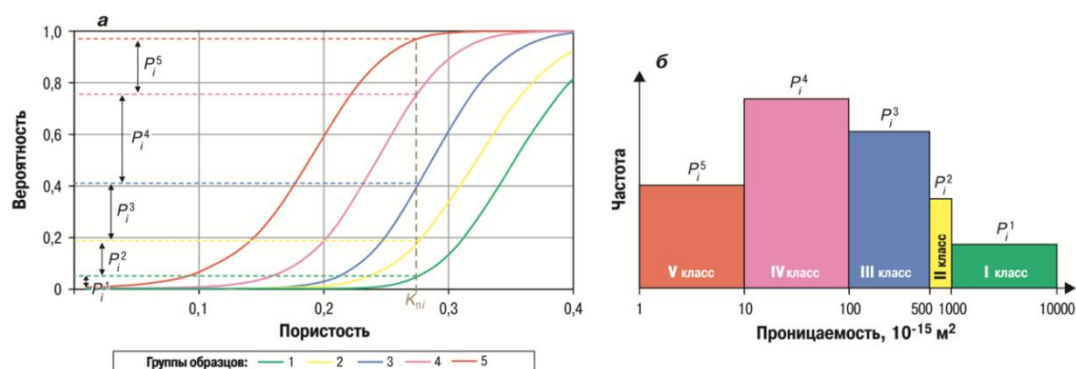


Рисунок 5 – Вероятностный расчет содержания коллекторов различных классов в ячейке геологической модели

Приведённые теоретические положения были реализованы в программном продукте, который позволяет автоматизировать необходимые вычисления (рис.6).

Для отложений тюменской свиты по ряду месторождений Шаимского нефтегазоносного района, по которым имелось достаточно большое количество данных по керну были построены искомые зависимости, адаптированные к масштабу пласта (рис.7). В последующем полученные

эмпирические функции были использованы для определения вероятностей существования каждого класса коллектора для ряда месторождений исследуемой территории.



Рисунок 6 – Принципиальная блок-схема программы определения зависимости вероятности существования коллекторов определённого класса от пористости, св. ЭВМ № 2022611634

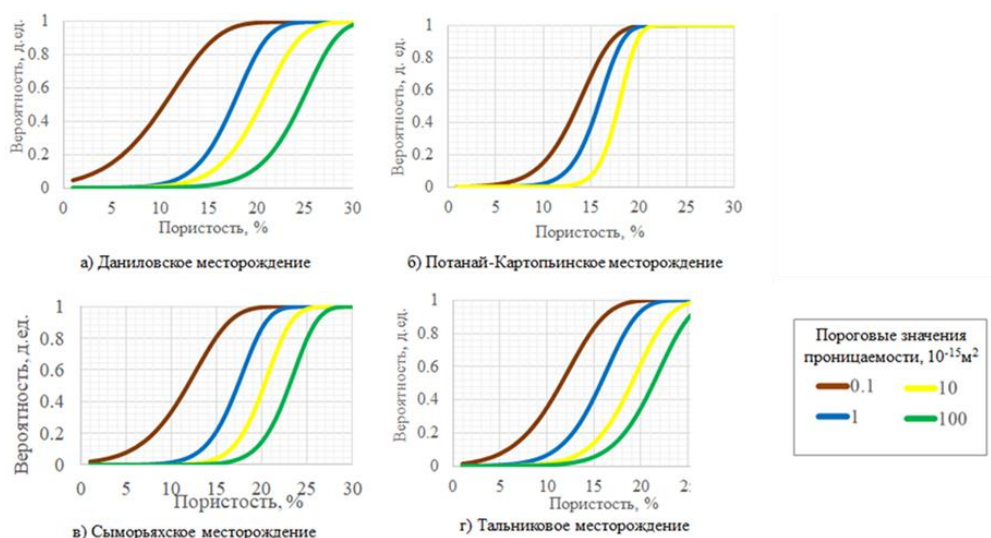


Рисунок 7 – Примеры Графиков вероятностей превышения ряда пороговых значений проницаемости продуктивных отложений среднеюрского отдела Шаимского района

Глава 4 Моделирование петрофизических параметров на основе вероятностных методов. В главе представлены результаты использования методики вероятностной оценки петрофизических свойств. Представлены результаты автоматизированного расчёта гистограмм проницаемости и гистограмм коэффициента нефтенасыщенности ячейки геологической модели с использованием вероятностных методов (рис.8–9).

По аналогичной методике, описанной в главе 3, представлены результаты расчета гистограмм коэффициента нефтенасыщенности ячейки геологической модели. Исследуемые образцы по параметру остаточная водонасыщенность разделены на 5 выборок. Для каждой выборки по пористости были определены вероятности не превышения соответствующего критического значения остаточной водонасыщенности (0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80%, 80-100%). При переходе к масштабу ячейки использован метод Монте-Карло. Для виртуальных пород коллекций рассчитаны функции вероятности не превышения соответствующего порогового значения остаточной водонасыщенности. Таким образом получаем основу для автоматического расчёта гистограммы остаточной водонасыщенности для каждой элементарной ячейки всей геологической модели одновременно. Для залежей сумма коэффициентов нефтегазонасыщенности и остаточной водонасыщенности практически равны 1.

Для плотных образцов характерна минимальная вероятность выполнения соответствующих условий, а для пород с очень хорошими, наоборот, данная функция стремиться к единице, что соответствует логике явления. Наряду с этим отмечается, что чем меньше берётся порог остаточной водонасыщенности, тем сложнее выявление образцов, отвечающих этим требованиям. Такое положение представляется закономерным, так же, оно подтверждается в ходе анализа данных свойств большинства коллекций пород, в которых доминирует поровый тип пустот: чем больше пористость породы, тем выше вероятность того, что остаточная водонасыщенность будет меньше принятого порогового значения.

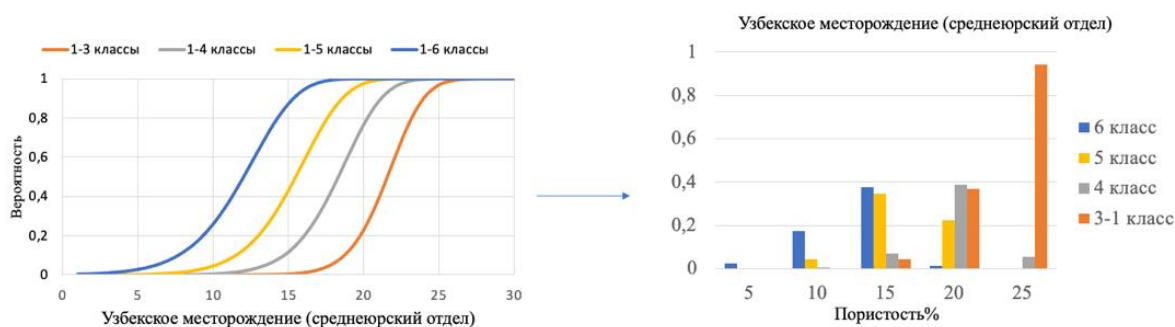


Рисунок 8 –Пример графика вероятностей превышения ряда пороговых значений

проницаемости в зависимости от пористости продуктивных отложений тюменской свиты

На основании исследуемых зависимостей была построена геологическая модель пласта Ю-3 Новомостовского месторождения, отражающая вероятностный характер распространения

пород коллекторов определенного класса (рис. 10). Тип напластования – параллельно подошве. Высота ячейки – 0.4 м^2 . По площади – $50 \cdot 50 \text{ м}^2$.

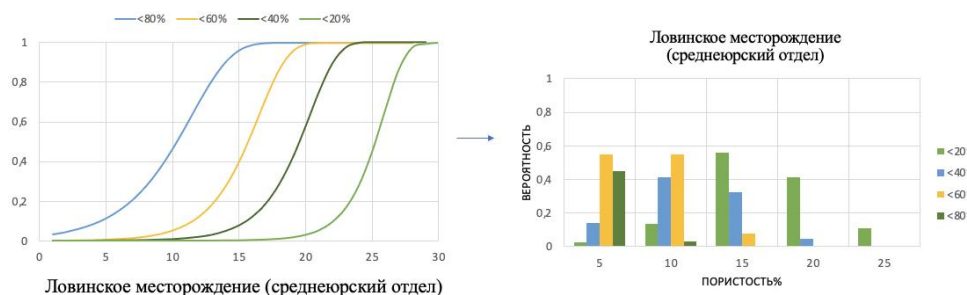


Рисунок 9 – Соотношения вероятностей не превышения критических значений остаточной водонасыщенности с различной средней пористостью продуктивных отложений тюменской свиты

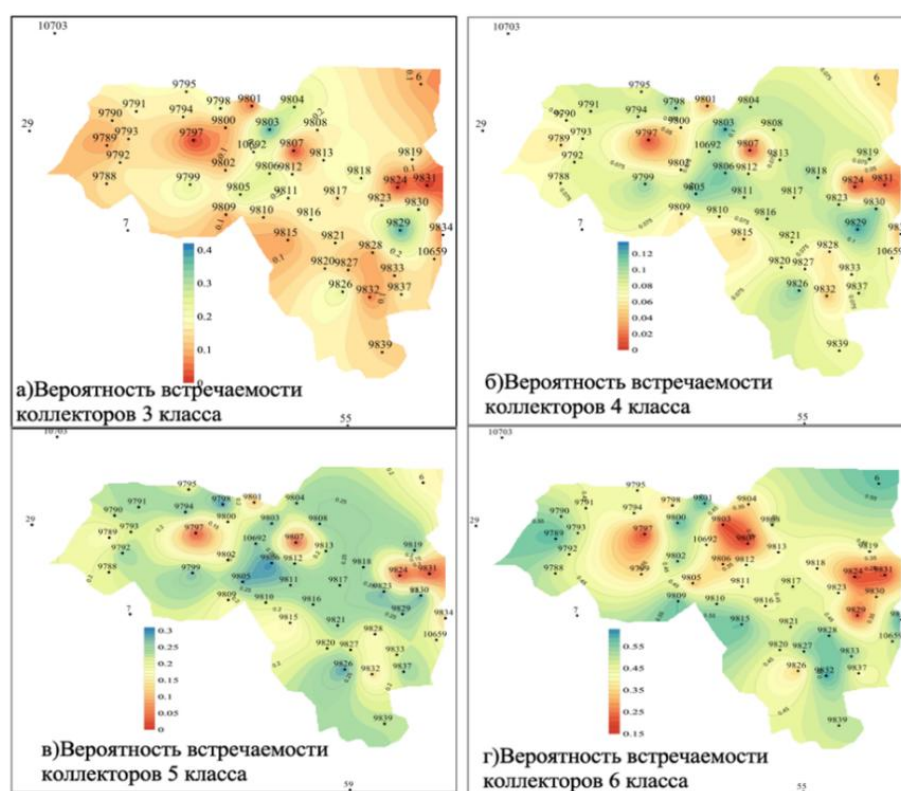


Рисунок 10 – Характер распространения коллекторов определенного класса проницаемости геологической модели пласта ЮЗ Новомостовского месторождения

Построенная модель отражает характер изменения фильтрационных свойств по площади. Замечены ухудшения коллекторских свойств в восточном направлении. Вероятность встречаемости хороших коллекторов обладает низкими показателями. Отмечено присутствие пород-коллекторов в основном в площади исследуемого месторождения.

На основании приведенных зависимостей построена геологическая модель пласта Ю-3 Новомостовское месторождения, отражающая вероятностный характер распространения пород с определенными значениями параметра остаточной водонасыщенности (рис. 11). Построенная модель отражает характер изменения параметра остаточной водонасыщенности по площади.

Отмечено увеличение параметра в центральной части исследуемого района. Данный подход к оценке неоднородностей распространения в залежи параметра, отражающего остаточную водонасыщенность, в определённой мере коэффициента нефтегазонасыщенности позволяют минимизировать негативные явления, возникающие при воздействии на пласт в процессе разработки залежей углеводородов, а также выявление вероятных зон залежей, на которые процессы разработки скорее всего окажут минимальное воздействие.

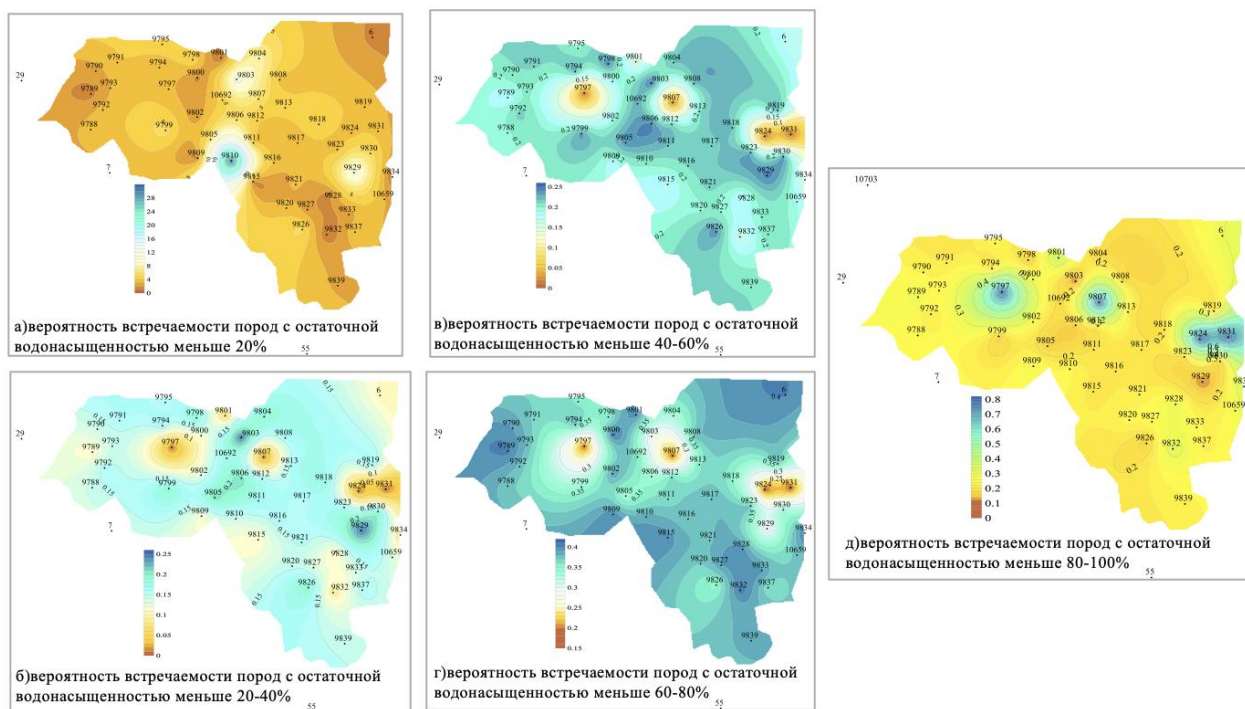


Рисунок 11 – Вероятность встречаемости пород с остаточной водонасыщенностью различных классов геологической модели пласта ЮЗ Новомостовского месторождения

Разрабатываемый метод ориентирован на повышение надёжности оценки коэффициента нефтегазонасыщенности в объёме залежи на основании изучения учёта характера изменения остаточной водонасыщенности, которая находится в достаточно устойчивой вероятностной связи с коллекторскими свойствами, что позволяет рассчитать куб нефтенасыщенности. В частности, для чисто нефтяной зоны искомый коэффициент будет меньше пористости на величину объёма, занятого остаточной водой, которую не представляется возможным удалить традиционными методами. Вблизи водонефтяного контакта также в принципе следует учитывать действие капиллярных сил. Они достаточно хорошо связаны с фильтрационными свойствами продуктивных отложений, при моделировании которых целесообразно использовать вероятностные методы.

Таким образом представленные модели (рис. 10-11) расширяют интервал и область поиска нефтеперспективных объектов Шаимского нефтегазоносного и связывают их не только с традиционными залежами в средне-верхнеюрских отложениях.

Глава 5 Неоднородности коллекторских свойств Шаимского нефтегазоносного района. В главе 5 рассмотрена изменчивость коллекторских свойств продуктивных отложений тюменской и абалакской свиты по площади Шаимского нефтегазоносного района, а также рассмотрены критерии, на основе которых можно прогнозировать потенциально перспективные объекты при проведении доразведочных работ. Построены зависимости между фильтрационными и ёмкостными свойствами, определёнными для разновозрастных отложений (Западно-Тугровское и Узбекское месторождения) (рис. 12-13).

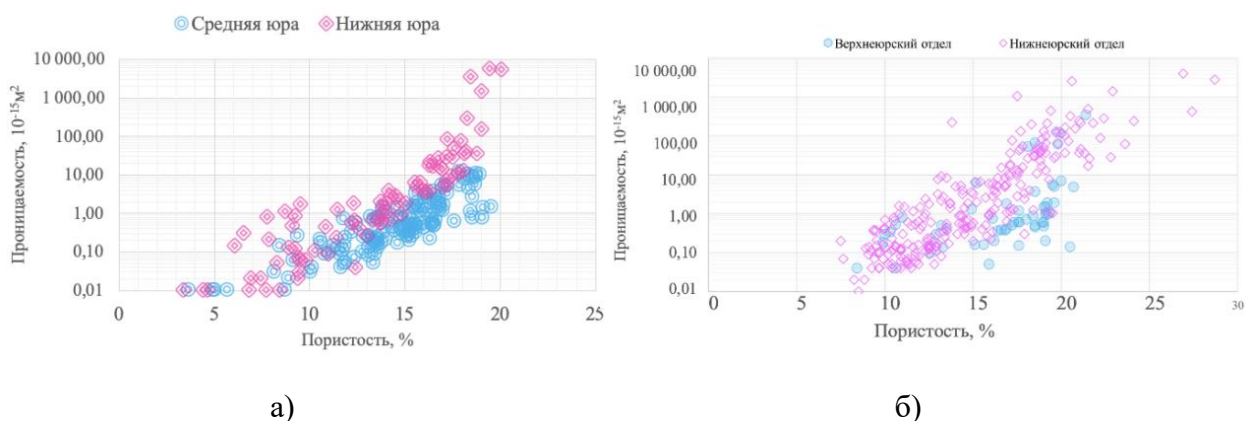


Рисунок 12 – Сопоставления пористости и проницаемости разновозрастных пород Западно-Тугровского месторождения (а) и Узбекского месторождения (б)

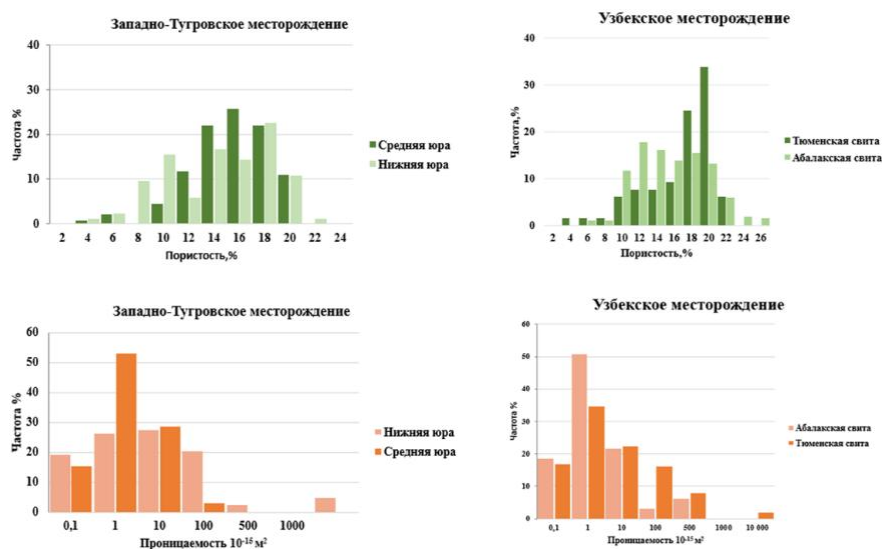


Рисунок 13 – Гистограммы сравнения фильтрационно-ёмкостных свойств терригенных пород месторождений Шаимского НГР

При сравнении разновозрастных пород с практически одинаковой пористостью наибольшие значения проницаемости, имеют представители коллекции наиболее древней группы пластов. Соответственно образцы коллекции тюменской свиты ряда рассматриваемых месторождений имеют лучшие фильтрационные свойства, чем породы абалакской свиты,

имеющие при этом одинаковые значения пористости. Можно предположить, что более древние породы рассматриваемой территории обладают наилучшими фильтрационными свойствами.

Построены принципиальные карты средней пористости коллекторов тюменской и абалакской свиты Шаимского нефтегазоносного района (рис. 14). Наиболее высокими значениями характеризуется отложения тюменской свиты, которые находятся на северо-западной части Шаимского нефтегазоносного района. Наихудшими свойствами обладают отложения, располагающиеся в восточной части района. Для отложений абалакской свиты наиболее высокими значениями выделены отложения, которые находятся на северо-западной части Шаимского НГР. Наихудшими свойствами обладают отложения, располагающиеся в восточной и центральной части района.

Для каждого класса коллекторов были построены схемы вероятности обнаружения отложений с соответствующими фильтрационными свойствами (рис. 15 -16).

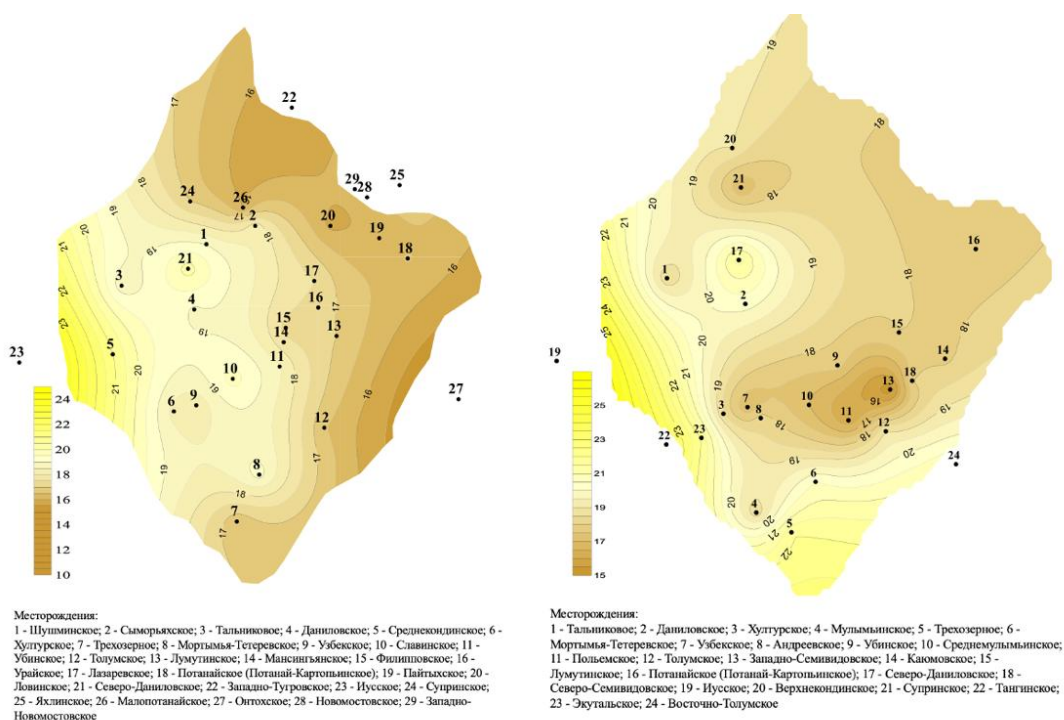


Рисунок 14 – Принципиальные схемы средней пористости коллекторов тюменской и абалакской свиты Шаимского нефтегазоносного района

В целом отмечается тенденция ухудшения коллекторов в восточном направлении, соответствующем последовательному погружению продуктивных отложений. Можно предположить, это обусловлено и характером изменения условий осадконакопления, и особенностями развития постседиментационных преобразований. Данные схемы обладают высокой информативностью. Они и отражают вероятности обнаружения коллекторов каждого класса проницаемости, в том числе, характеризуют коллекцию низкопроницаемых коллекторов для разновозрастных пород. В западной и юго-западной части Шаимского нефтегазоносного

района отмечается высокая вероятность распространения отложений, проницаемость которых изменяется в интервале от 500 до 1000 10^{-15} м^2 , в то время как в северо-восточной и юго-восточной частях наблюдается аномально-высокая вероятность распространения отложений, проницаемость которых изменяется в интервале от 0,1 до 1 10^{-15} м^2 . Можно предположить, что существует обстановка, негативно влияющая на миграцию, что в свою очередь создаёт предпосылки для образования литологических барьеров и, следовательно, формирования ловушек нефти и газа литологического или структурно-литологического типов.

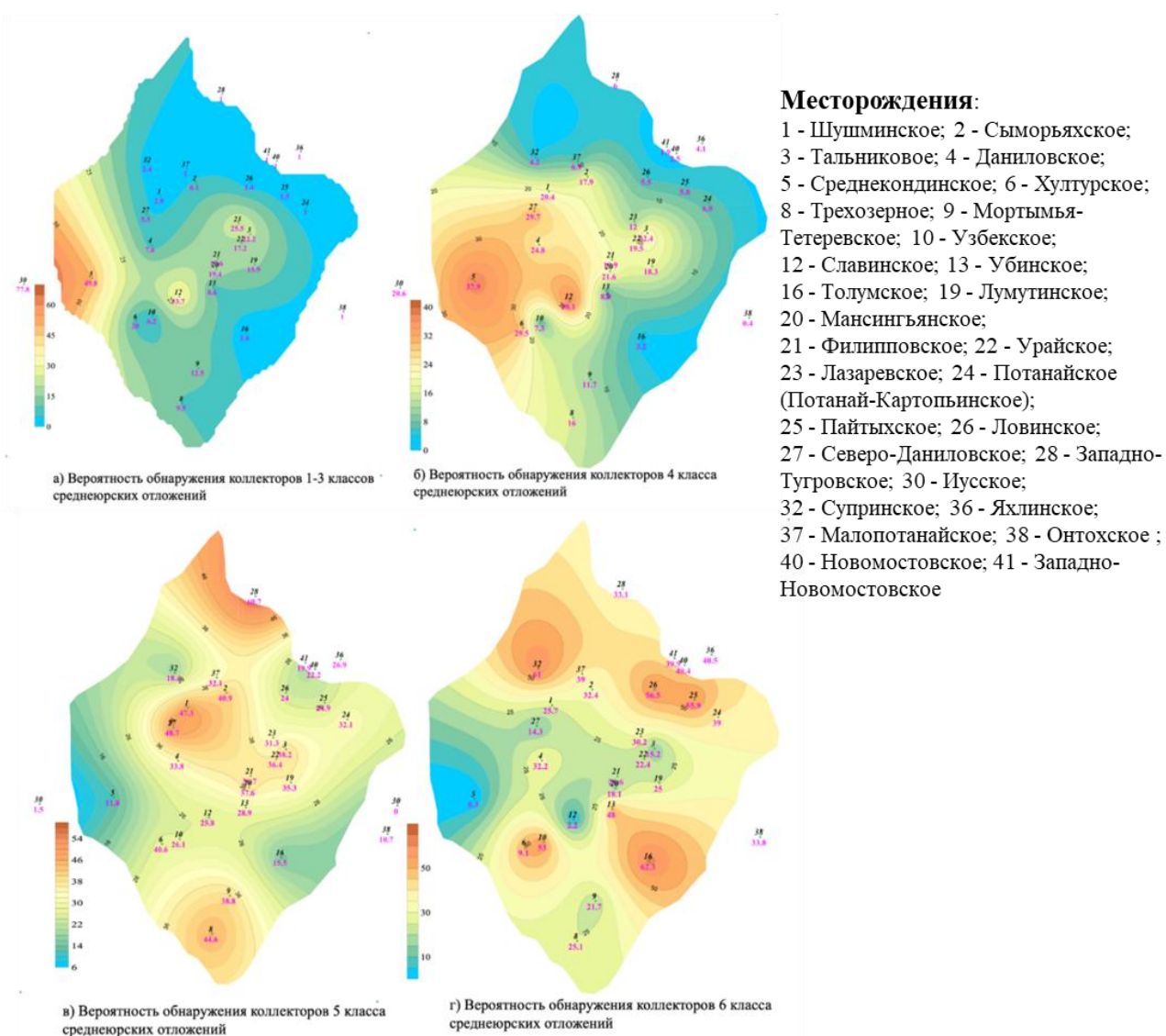
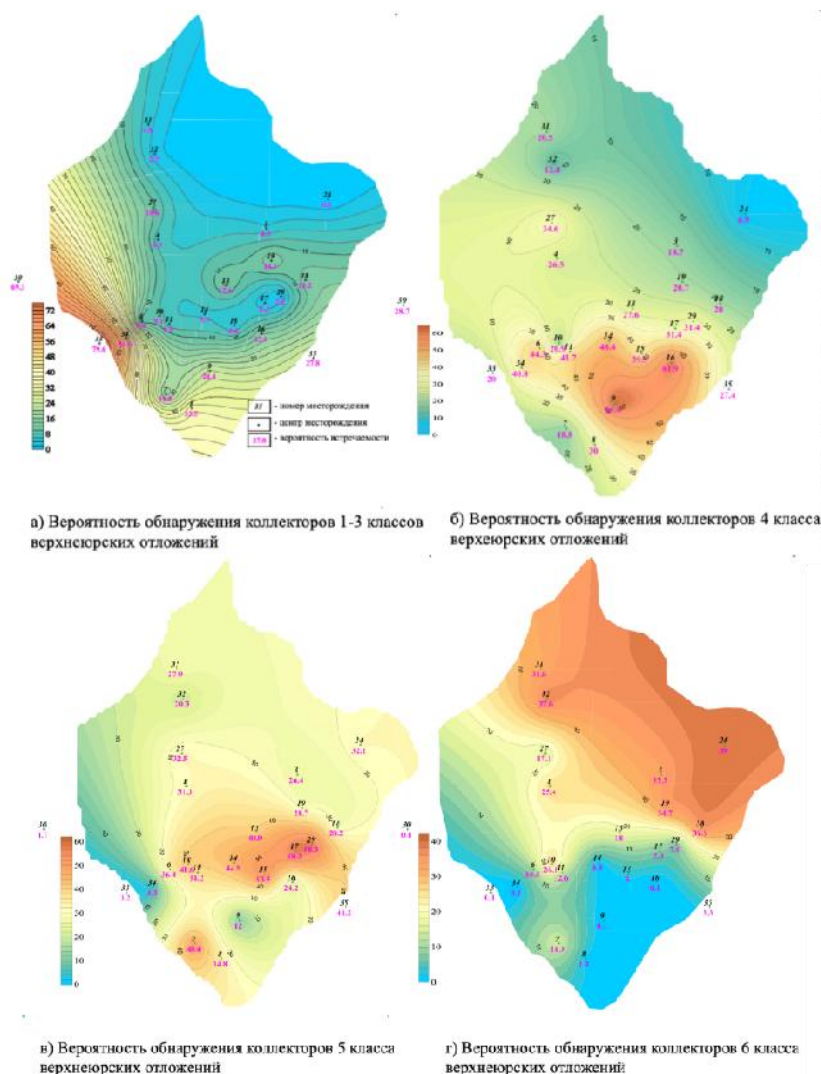


Рисунок 15 – Принципиальные схемы вероятности обнаружения коллекторов различных классов проницаемости отложений тюменской свиты среднеюрского отдела

Для каждой группы отложений тюменской и абалакской свиты построены принципиальные схемы, отражающие вероятность обнаружения пород с остаточной водонасыщенностью не превышающее определенное значение. Необходимо отметить, что среднеюрские песчано-алевролитовые отложения имеют относительно более высокие значения остаточной водонасыщенности, чем их отложения абалакской свиты (рис.19-20).

**Месторождения:**

3 - Тальниковое; 4 - Даниловское;
 6 - Хултурское; 7 - Мулымьинское;
 8 - Трехозерное; 9 - Мортимья-Тетеревское; 10 - Узбекское;
 11 - Андреевское; 13 - Убинское;
 14 - Среднемулымьинское;
 15 - Польемское; 16 - Толумское;
 17 - Западно-Семивидовское;
 18 - Каюмовское; 19 - Лумутинское;
 24 - Потанайское (Потанай-Картопынское); 27 - Северо-Даниловское; 29 - Северо-Семивидовское; 30 - Иусское;
 31 - Верхнекондинское;
 32 - Супринское; 33 - Тангинское;
 34 - Экутальское; 35 - Восточно-Толумское.

Рисунок 16 – Принципиальная схемы вероятности обнаружения коллекторов различных классов проницаемости отложений тюменской свиты верхнеюрского отдела

Выделены зоны вероятного распространения пород с наилучшими коллекторскими свойствами (рис. 17-18).

В результате аналитических исследований установлено следующее:

- при сопоставлении образцов одного и того же месторождения, имеющих практически равную пористость, наилучшими значениями проницаемости, обладают более древние породы;
- площадное распространение пористости продуктивных отложений имеет тенденцию увеличения в западном направлении для коллекторов тюменской свиты, и в юго-западном направлении для пород абалакской свиты;
- в северо-восточной и юго-восточной частях Шаимского нефтегазоносного района подмечена достаточно высокая вероятность распространения отложений 6 класса коллекторов, проницаемость которых изменяется в интервале от 0,1 до $1 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, что связано с наличием обстановки негативно влияющей на миграцию флюидов, следовательно существуют

предпосылки для формирования ловушек нефти и газа литологического или структурно-литологического типов;

– отмечена большая вероятность присутствия пород с остаточной водонасыщенностью 20–40% для рассматриваемой территории.

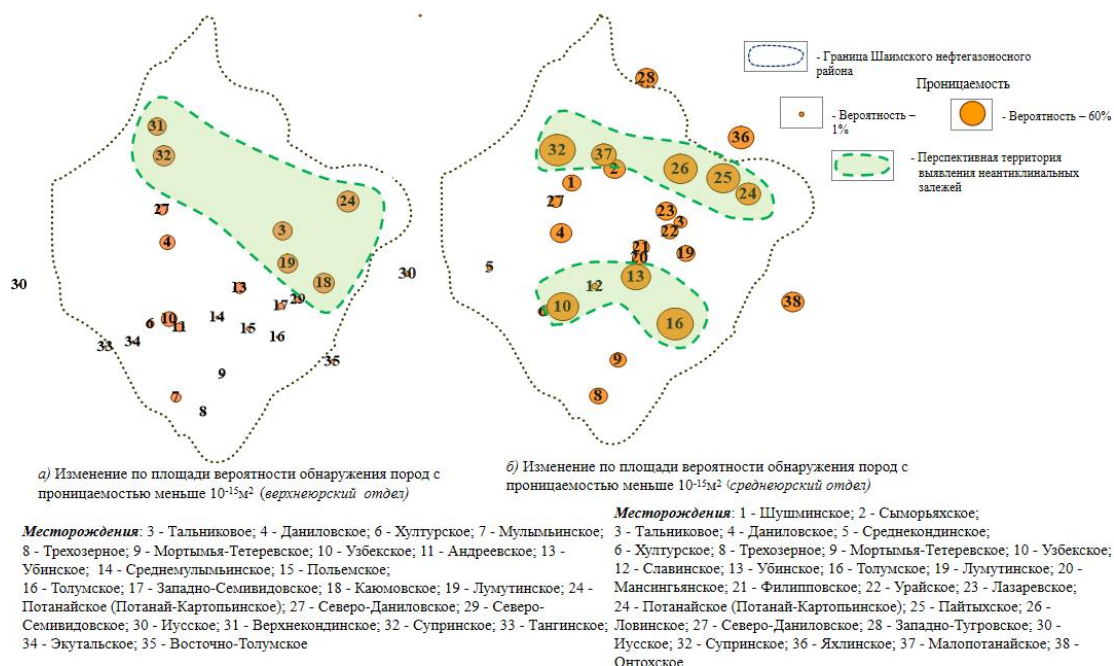


Рисунок 17 – Вероятностные характеристики распространения пород с наихудшими коллекторскими свойствами (по проницаемости)

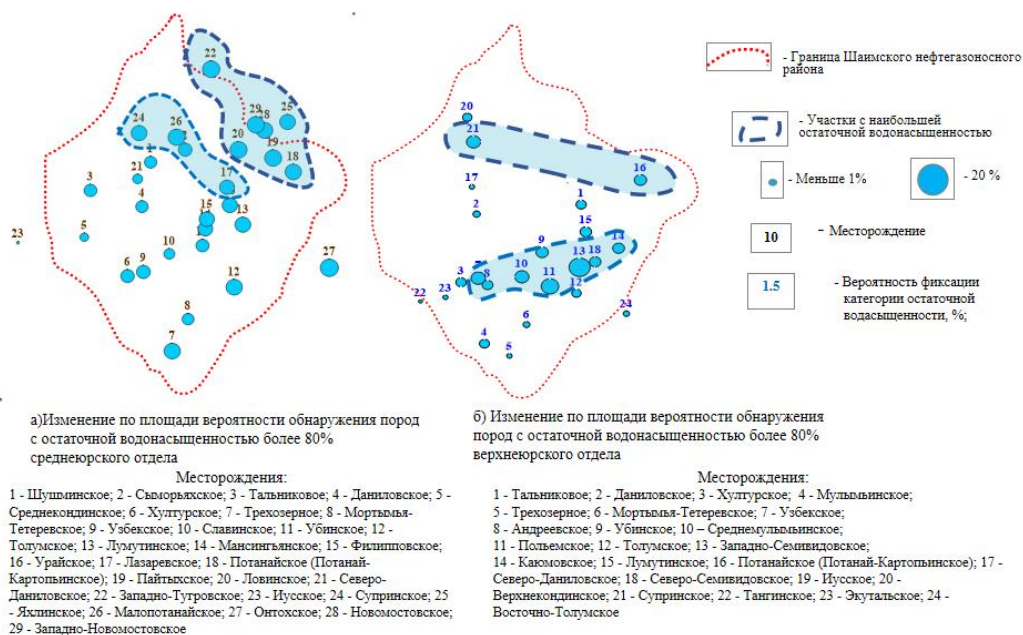


Рисунок 18 – Вероятностные характеристики распространения пород с наихудшими значениями остаточной водонасыщенности

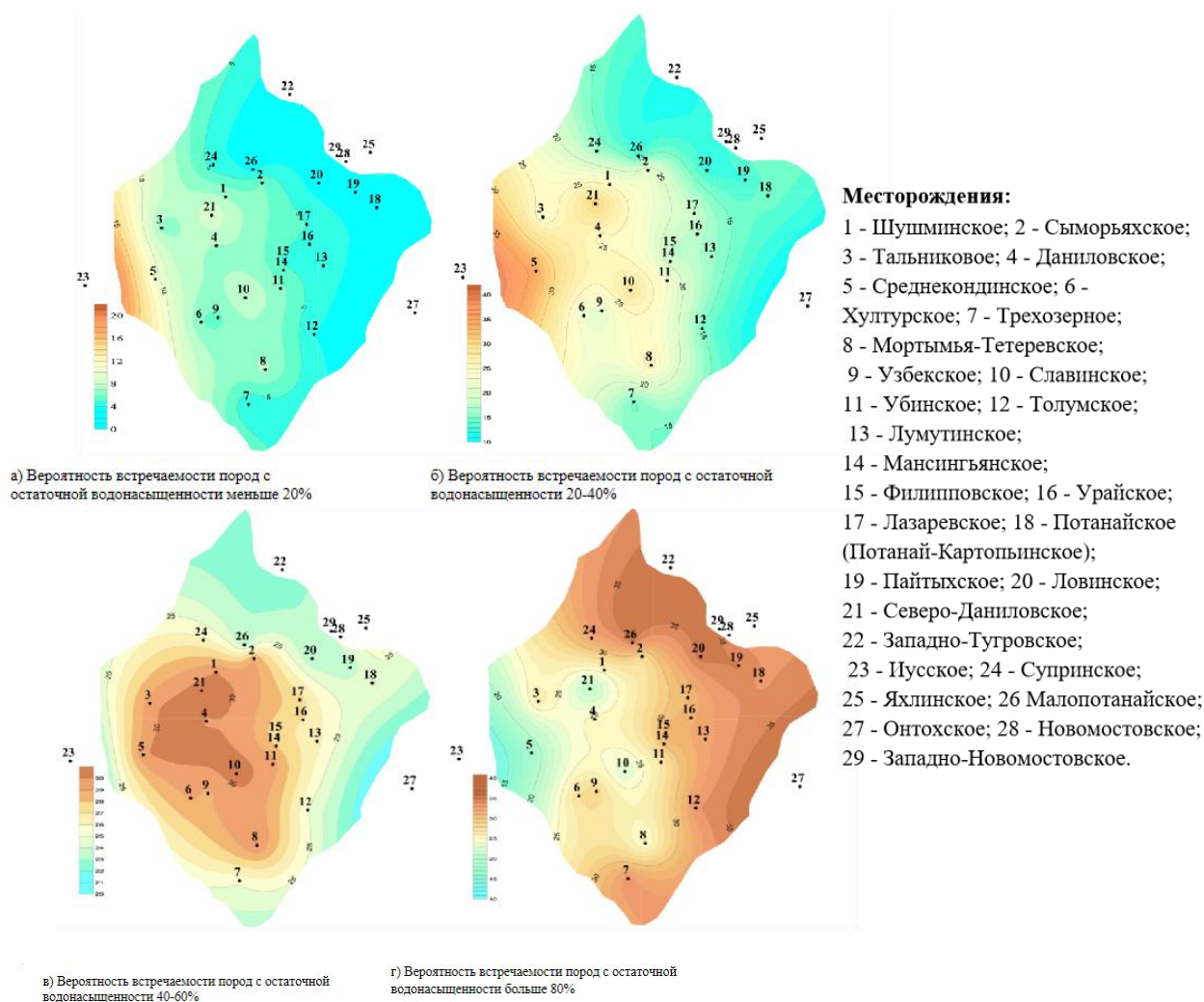


Рисунок 19 – Принципиальные схемы вероятности встречаемости пород с различной остаточной водонасыщенностью тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района

Выполнена дифференциальная оценка запасов нефти и газа различных литотипов. Выполненный анализ представительной выборки петрофизических свойств верхнеюрского и среднеюрского (тюменская свиты) отделов по ряду месторождений позволил выполнить соответствующие вычисления запасов углеводородов отдельно для классов коллекторов, определённых по проницаемости (рис.21). Приводятся доли запасов пород с различными ёмкостными свойствами. Отмечено, что доля запасов, соответствующая породам, которые относятся к 6 классу коллекторов, обладает высокими значениями распределения относительно других классов коллекторов по ряду месторождений. Особенно это характерно для отложений тюменской свиты среднеюрского отдела. Приводятся доли запасов пород с различными ёмкостными свойствами. Отмечено, что доля запасов, соответствующая породам, которые относятся к 6 классу коллекторов, обладает высокими значениями распределения относительно других классов коллекторов по ряду месторождений. Особенно это характерно для отложений тюменской свиты среднеюрского отдела.

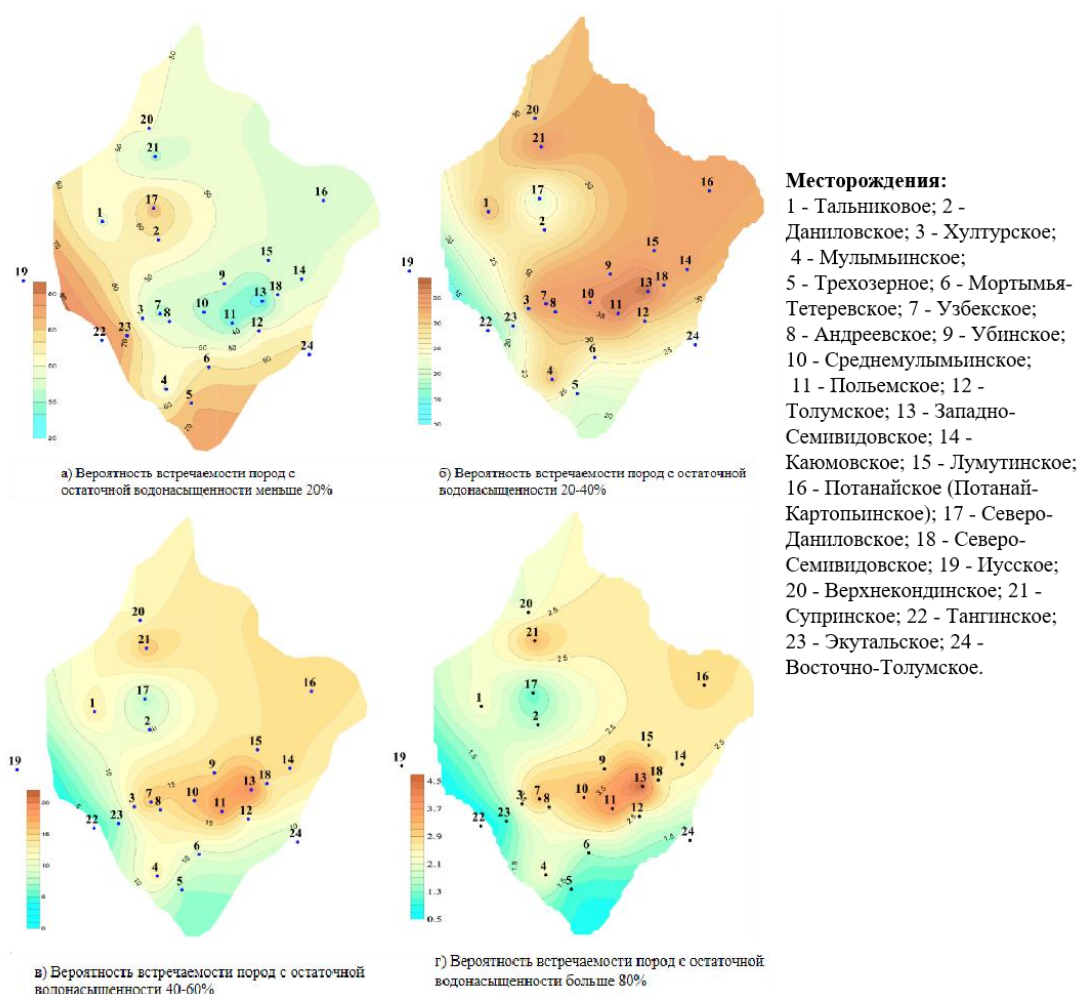


Рисунок 20 – Принципиальные схемы вероятности встречаемости пород с различной остаточной водонасыщенностью абалакской свиты Шаимского нефтегазоносного района

Месторождение	Относительные первоначальные запасы углеводородов пород классов проницаемости, %				
	6 класс	5 класс	4 класс	3 класс	1-2 классы
1.Андреевское	12.9	39.2	42.9	4.1	0.9
2.Верхнекондинское	37.2	32.9	24.2	4.9	0.8
3.Восточно-Толумское	3.3	41.3	27.5	22.8	5.1
4.Даниловское	28.2	34.7	29.3	4.4	3.4
5.Западно-Семивидовское	7.9	58.4	31.5	2.1	0.1
6.Каюмовское	37.3	28.7	20.5	11.4	2.1
7.Лумутинское	35.3	29.3	21.1	13	1.3
8.Мортмыя-Тетеревское	1.1	13.5	77.3	4.9	3.2
9.Мулымьинское	17	55.4	21.6	4.6	1.4
10.Польемское	3	53.5	39.9	3.5	0.1
11.Потанайское	47.5	39	8.5	4.4	0.6
12.Северо-Даниловское	18	34.3	36.5	7.5	3.7
13.Северо-Семивидовское	7.9	58.4	31.5	1.9	0.3
14.Среднемулымьинское	0.9	44.9	48.5	5.6	0.1
15.Супринское	51.3	27.6	17.4	0.4	4.1
16.Тальниковое	40.3	31.9	22.6	2.8	2.4
17.Тангинское	0	0.3	20.1	73.8	5.8
18.Толумское	1.2	23	61.9	12.5	1.4
19.Трекозерное	2.2	47.1	40.7	5.4	4.6
20.Убинское	18.2	41.3	27.9	12.5	0.1
21.Узбекское	61.1	19.4	19.4	0	0
22.Хултурское	10.9	37.8	46.1	4.1	1.1
23.Экутальское	0.2	4.3	40.8	49.5	5.2

а)

Месторождение	Относительные первоначальные запасы углеводородов пород классов проницаемости, %				
	6 класс	5 класс	4 класс	3 класс	1-2 классы
1.Даниловское	32.8	34.2	25.3	1.6	6.1
2.Лазаревское	30.5	31.7	12.1	17.6	8.1
3.Ловинское	64.5	27.5	6.3	1.6	0.1
4.Лумутинское	26.4	37.4	19.4	16.5	0.3
5.Малопотанайское	49.4	40.6	8.8	1.1	0.1
6.Мансингянское	18.8	38.8	22.3	19.7	0.4
7.Мортмыя-Тетеревское	25.6	45.7	13.9	7.2	7.6
8.Онтохское	73.3	23.4	1.1	2.2	0
9.Пайтыжское	63.3	28.2	6.7	1.7	0.1
10.Северо-Даниловское	14.6	49.6	30.2	4.9	0.7
11.Славинское	2.2	25.8	38.2	32.8	1
12.Среднекондинское	0.4	11.8	37.9	39.9	10
13.Супринское	70.7	21.5	4.9	2.9	0
14.Сыморьяжское	33.3	41.9	18.5	5.9	0.4
15.Тальниковое	15.5	39	22.9	19.6	3
16.Толумское	75.2	18.8	4	1.8	0.2
17.Трекозерное	26.4	46.8	16.8	9.9	0.1
18.Убинское	50.9	30.5	9.4	8.6	0.6
19.Узбекское	57.2	28.2	7.9	6.3	0.4
20.Урайское	23.4	38.1	20.5	17.7	0.3
21.Филипповское	22.5	38.3	20.9	18	0.3
22.Хултурское	9.1	41	29.7	18.7	1.5
23.Шушинское	26.6	49.2	21.2	2.5	0.5
24.Яхлинское	55.7	37.1	5.8	1.1	0.3

б)

Рисунок 21 – Дифференциальные запасы условного топлива пород различных классов проницаемости отложений а) верхнеюрского отдела; б) среднеюрского отдела

Приводятся доли запасов пород с различными ёмкостными свойствами. Отмечено, что доля запасов, соответствующая породам, которые относятся к 6 классу коллекторов, обладает высокими значениями распределения относительно других классов коллекторов по ряду месторождений. Особенно это характерно для отложений тюменской свиты среднеюрского отдела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследовано геологическое строение, проанализированы фильтрационно-ёмкостные свойства и параметр остаточной водонасыщенность (нефтегазонасыщенность) по ряду месторождений Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с целью актуализации перспектив освоения залежей углеводородов рассматриваемой территории.

Для более детального анализа применялся комплексный подход с использованием большого количества геолого-геофизической информации, что позволило автору выявить закономерности и вероятностные осложнения для дальнейшего формирования базы, которая поможет в прогнозировании потенциально перспективных объектов.

В процессе проведенных исследований достигнуты следующие результаты:

1. Выполнено обобщение информации о геологическом строении Шаимского нефтегазоносного района.

2. Выявлен характер изменчивости свойств углеводородов на территории рассматриваемого района.

3. Проанализированы явные и функциональные неоднородности фильтрационно-ёмкостных свойств продуктивных отложений. При сравнении разновозрастных пород с практически одинаковой пористостью наибольшие значения проницаемости, имеют преимущественно представители коллекции наиболее древней группы пластов.

4. Разработан новый подход к оценке фильтрационных свойств геологических моделей на основании использования вероятностных методов, позволяющий рассчитывать в автоматическом режиме гистограммы проницаемости каждой ячейки геологической модели, определяющий возможность усовершенствовать систему построения моделей и оценку запасов углеводородов, а также разрабатывать более детальные проекты воздействия на пласт в процессе освоения залежей нефти и газа.

5. Предложена методика автоматизированного анализа остаточной водонасыщенности на основании использования вероятностных методов, которая позволяет строить гистограммы данного параметра для каждой ячейки геологической модели, что позволяет выполнять оценки особенностей изменений коэффициентов нефтегазонасыщенности в пределах залежей углеводородов.

6. Результаты выполненного анализа площадных неоднородностей коллекторских свойств позволяют локализовать территории благоприятные для существования ловушек литологического типа на территории Шаимского нефтегазоносного района.

7. Осуществлена дифференциальная оценка запасов углеводородов для пород различных классов проницаемости по ряду месторождений Шаимского нефтегазоносного района.

Таким образом, поставлена и решена актуальная научная задача по уточнению закономерностей геологического строения Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в том числе по исследованию неоднородностей коллекторов и флюидов, для оценки ресурсов перспективных объектов и проведения работ на нефть и газ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в изданиях, индексируемых в МЦБ (Scopus, Web of Science):

1. Estimation of residual water saturation in 3D geological modeling. /P.N. Strakhov, **A. A. Markelova**, E. P. Strakhova // Eurasian Mining. 2024. No. 1. pp. 25–27.
2. Strakhov P.N., **Markelova A.A.** Probabilistic evaluation of the permeability of the rocks of the elementary cell of a geological model // SOCAR Proceedings No.2 (2024) 056-060. pp. 56-60.
3. Учет неоднородности продуктивных отложений при построении геологических моделей с целью повышения эффективности водогазового воздействия/ П. Н. Страхов, А. А. Белова, **А. А. Маркелова**, Е. П. Страхова // Нефтяное хозяйство - 2021 №2 стр.46-49.
4. Importance of accounting macro heterogeneity of productive strata to improve efficiency of water alternating gas injection process / P.N. Strakhov, **A.A. Markelova**, Ya.A. Gorbyleva, E.P. Strakhova // Eurasian Mining. 2022. № 2 (38). С. 3–6.

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

5. Вероятностная оценка проницаемости отложений верхней части Тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района. Страхов П. Н., **Маркелова А.А.** // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022;23(3):224-231
6. Теоретические предпосылки прогнозирования зон карбонатных отложений с улучшенными коллекторскими свойствами / П. Н. Страхов, **А. А. Маркелова**, О. А. Богданов, Е. Е. Поляков, Н. Н. Лексин, А. Б. Сапожников // Наука и техника в газовой промышленности №2 (98). 2024. С. 18–25.
7. Теоретические предпосылки выявления коллекторов в доюрском комплексе в западной части ХМАО Страхов П. Н., **Маркелова А. А.**, ФГАОУ ВО РУДН, Страхова Е. П.,

МГРИ им. Серго Орджоникидзе // Наука и техника в газовой промышленности. 2022. № 3 УДК 622.276

8. Вероятностная оценка неоднородностей коллекторских свойств верхнеюрского отдела Шаимского района. Страхов П. Н., **Маркелова А.А.**, Крылов Д.Н. // Наука и техника в газовой промышленности №2(94)2023.

Свидетельства на программы для ЭВМ и базы данных:

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611634 Российская Федерация. Вероятностная оценка проницаемости ячейки цифровой геологической модели : № 2022610607 : заявл. 19.01.2022 : опубл. 28.01.2022 / **А.А. Маркелова**, К.А. Стопани; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов».

10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622756 Российская Федерация. Определение вероятностных характеристик при изучении различных классов проницаемости среднеюрских отложений месторождений Шаимского нефтегазоносного района : № 2024622393 : заявл. 11.06.2024 : опубл. 26.06.2024 / **А.А. Маркелова**; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622621 Российская Федерация. Определение вероятностных характеристик при изучении различных классов проницаемости верхнеюрских отложений месторождений Шаимского нефтегазоносного района : № 2024622389 : заявл. 11.06.2024 : опубл. 17.06.2024 / **А.А. Маркелова**; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

В материалах конференций:

12. Роль процессов выщелачивания и перекристаллизации в сохранении пустотного пространства карбонатных отложений /П.Н. Страхов, **А.А. Маркелова**, А.А. Белова, Н.Н. Лексин, Г.Р. Лексина, А.С. Миронов // материалы VII Международной конференции «Наноявления в геоэкологии и при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям», Москва, 22-23 ноября 2022г.

13. Вероятностный подход к оценке проницаемости и остаточной водонасыщенности ячеек геологической модели коллекторов порового типа при подготовке залежей нефти и газа к разработке / П.Н. Страхов, **А.А. Маркелова**, А.Е. Котельников, А.С. Макарова, В.М. Бугина, Е.П. Страхова, Н.Н. Лексин // Сборник материалов конференции «Геонауки: время перемен, время перспектив», Санкт-Петербург, 17-20 апреля 2023 г., -- С. 77-80.

14. **Маркелова А. А.** Характеристика вероятностной оценки проницаемости пород элементарной геологической ячейки модели / А. А. Маркелова // Перспективы развития геологии, горного и нефтегазового дела: материалы научно-практической конференции, Москва, 29 сентября 2023 года. – Москва: Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, 2023. – С. 11-13.

В других изданиях:

15. Дифференциальная оценка запасов нефти и газа пород юрской системы различных классов проницаемости Шаимского нефтегазоносного района / П. Н. Страхов, О. А. Богданов, Н. Н. Лексин, **А.А. Маркелова**, Е.Е. Поляков // Недропользование XXI век. –2023. – № 5-6(101). – С. 58-71.

АННОТАЦИЯ ДИССЕРТАЦИИ

(Неоднородности коллекторских свойств юрской системы Шаимского нефтегазоносного региона и методы их учета при моделировании и оценке запасов углеводородов)

Диссертационная работа посвящена исследованию геологического строения в связи с перспективами нефтегазоносности Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Целью работы является исследование геологического строения, выявление закономерностей развития неоднородностей коллекторских свойств, которые необходимы при проведении поисково-разведочных работ и оценки ресурсов перспективных объектов.

Актуальность исследования заключается в необходимости восполнения ресурсной базы углеводородов Российской Федерации за счет освоения месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Недоразведанность юрских перспективных объектов Шаимского нефтегазоносного района и прилегающих территорий вызывает трудности при прогнозировании возможных осложнений при проектировании поисковых работ. В настоящее время назрела необходимость совершенствование способов определения характеров изменений фильтрационных свойств продуктивных отложений и коэффициентов нефтегазонасыщенности.

Для выполнения диссертационной работы были поставлены задачи: исследования явных и функциональных фильтрационно-емкостных свойств продуктивных отложений, выявление неоднородностей свойств углеводородов ,разработка новых принципов геологического моделирование проницаемости при использовании вероятностных методов, разработка новых принципов геологического моделирование остаточной водонасыщенности при использовании вероятностных методов, анализ площадных неоднородностей на территории рассматриваемого района, осуществить дифференциальную оценку запасов пород различных классов проницаемости.

Диссертационная работа является результатом аналитического обобщения обширного фактического материала по геологическому строению, нефтегазоносности, геофизическим характеристикам продуктивных отложений Шаимского нефтегазоносного района.

ANNOTATION

of the Graduation Qualification work

« Heterogeneities of reservoir properties of the jurassic system of the Shaim oil and gas region and the methods of their accounting in modelling and assessing hydrocarbon reserves»

Dissertation is devoted to the study of the geological structure in connection with the oil and gas prospects of the Shaim oil and gas region of the West Siberian oil and gas province.

The purpose of the work is to study the geological structure, identify patterns of development of heterogeneities in reservoir properties, which are necessary when carrying out prospecting and exploration work and assessing the resources of promising objects.

The relevance of the study lies in the need to replenish the hydrocarbon resource base of the Russian Federation through the development of deposits in the West Siberian oil and gas province. The lack of exploration of the Jurassic prospective sites of the Shaimsky oil and gas bearing region and adjacent territories causes difficulties in predicting possible complications in the design of exploration work. Currently, there is a need to improve methods for determining the patterns of changes in the filtration properties of productive sediments and oil and gas saturation coefficients.

To carry out dissertation, the following tasks were set: research into the explicit and functional filtration-capacitive properties of productive sediments, identification of heterogeneities in the properties of hydrocarbons, development of new principles for geological modeling of permeability using probabilistic methods, development of new principles for geological modeling of residual water saturation using probabilistic methods, analysis areal heterogeneities on the territory of the region under consideration, to carry out a differential assessment of rock reserves of different permeability classes.

Dissertation work is the result of an analytical synthesis of extensive factual material on the geological structure, oil and gas content, geophysical characteristics of productive deposits of the Shaim oil and gas region.