

На правах рукописи



Алеева Анна Олеговна

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЮРСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ КАК ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЙ ПРИЗНАК ДОЮРСКИХ
ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск
2021

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: Исаев Валерий Иванович,
доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты: Петрищевский Александр Митрофанович,
доктор геолого-минералогических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки «Институт комплексного анализа региональных
проблем ДВО РАН», главный научный сотрудник
(г. Биробиджан)

Долгаль Александр Сергеевич,
доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки «Горный институт УрО РАН», главный научный
сотрудник (г. Пермь)

Защита диссертации состоится «25» 03 2021 г. в ____ - ____ на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.27 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, корпус 20, ауд. ---.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, ул. Белинского, 53 и на сайте dis.tpu.ru

Автореферат разослан «____» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук



Лобова Галина Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На территории Западной Сибири традиционные объекты юрских и меловых нефтегазоносных комплексов (НГК) находятся в поздней стадии разработки, в связи с этим, возникает необходимость поисков и освоения зон нефтегазонакопления в новых стратиграфических горизонтах.

Различие подходов к проблеме формирования залежей углеводородов (УВ) в палеозойском нефтегазоносном комплексе, вариантный выбор фактических материалов и различные методы их интерпретации привели к многообразию концепций о нефтегазоносности палеозойских отложений, неоднозначности оценки их перспектив. Но открытие месторождений нефти и газа в доюрских отложениях на территории Томской области заставляют продолжать исследования этой проблемы.

Актуальность диссертационной работы обусловлена важностью воспроизводства и расширения ресурсной базы углеводородов Западной Сибири на основе оценки перспектив горизонта зоны контакта и коренного палеозоя.

Объектом диссертационных исследований являются залежи УВ в доюрском основании и перекрывающий юрский разрез на территории Томской области. **Предмет исследований** – геофизические и петрофизические характеристики юрских пластов-коллекторов и баженовской свиты месторождений только с юрскими залежами нефти и месторождений, имеющих залежи в доюрском основании.

Степень разработанности темы. Первый этап изучения нефтегазоносности палеозойских отложений, датированный периодом 30-40 гг. прошлого столетия, ассоциируется с исследованиями И.М. Губкина, Н.С. Шатского, Н.А. Кудрявцева, М.А. Усова, М.К. Коровина, А.В. Тыжнова, Р.С. Ильина, В.И. Высоцкого и ряда других исследователей. На возможную перспективность палеозойских отложений в 50-60 гг. указывали Ф.Г. Гурари, Ю.А. Косыгин, И.И. Нестеров, В.Д. Наливкин, Н.Н. Ростовцев, Г.П. Сверчков.

Второй этап поиска залежей углеводородов в палеозойском НГК, датируемый периодом 70-80 гг., характеризуется реализацией программы по оценке перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений Западной Сибири под руководством академика А.А. Трофимука. В 80-90-е годы, благодаря А.Э. Конторовичу, И.А. Олли, О.Ф. Стасову, В.С. Вышемирскому, Н.П. Запивалову, И.В. Гончарову, А.Н. Фомину и др., появились новые данные, подтверждающие положительную оценку перспектив

нефтегазоносности палеозойского комплекса Нюрольской мегавпадины, исходя из его ограниченной дислоцированности и катагенеза.

Следующим этапом оценки перспективности и освоения палеозоя является проект «ПАЛЕОЗОЙ» с реализацией до 2025 г. Это разработка инновационных методов для оценки ресурсного потенциала и прогноза продуктивных интервалов в доюрском основании, включающих комплексную интерпретацию материалов сейсморазведочных работ, грави- и магниторазведки (В.Б. Белозеров и др., 2018, 2020; В.П. Меркулов и др., 2019, 2020).

Цель настоящих исследований – на основе представлений об аномальности «отражения» залежей палеозоя в геофизических параметрах перекрывающего мезозойского разреза разработать геолого-геофизический критерий прогнозирования и поисков новых нефтегазоносных объектов, приуроченных к доюрским образованиям.

В диссертационной работе решалась следующая научная задача – выполнить обоснование гипотезы аномальности геофизических и петрофизических характеристик юрских пластов, перекрывающих продуктивный палеозойский разрез, на основе сопоставительного анализа геофизических и петрофизических характеристик, а также оценки карбонатности юрского разреза.

Научная новизна работы

1. Выполнено промыслово-геофизическое и петрофизическое обоснование научной гипотезы аномальности «отражения» залежей палеозоя в геолого-геофизических характеристиках перекрывающего мезозойского разреза.

2. Установлено, что аномальность геофизических и петрофизических характеристик транзитных юрских пластов может служить прогнозно-поисковым критерием зон нефтегазонакопления в палеозойском разрезе.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Определены 6-ть геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза как прогностических показателей для оценки нефтегазоносности доюрского (палеозойского) разреза.

2. Использование авторского критерия прогнозирования повышает эффективность поисков и освоения зон нефтегазонакопления в доюрском нефтегазоносном комплексе, отнесенном к трудноизвлекаемой нефти, но инвестиционно привлекательном из-за

приуроченности к районам нефтепромыслов Томской области с развитой инфраструктурой.

Методология и методы исследования

Методологической основой исследований является фундаментальная модель стадийности процессов нефтегазообразования (Н.Б. Вассоевич, 1967, А.Э. Конторович и др., 1967; Л.М. Бурштейн и др., 1997).

Концептуально принято, что как в случае возможной восходящей, так и в случае нисходящей миграции УВ-флюидов происходят процессы наложенного эпигенеза, в результате которых горные породы транзитных юрских пластов испытывают вторичные преобразования, приводящие к аномальным геофизическим и петрофизическим характеристикам. В первом случае палеозойские отложения рассматриваются как комплекс с самостоятельным нефтегенерационным потенциалом, приводящим к восходящей миграции УВ (И.А. Мельник, 2013, 2020). Во втором случае, подтвержденной корреляцией нефтей и битумоидов нефтематеринских пород, выявляется нисходящая направленность вертикальной межпластовой миграции УВ из юрских материнских свит в доюрский комплекс (В. И. Исаев и др., 2014, 2020).

Оценка удельного электрического сопротивления по данным индукционного каротажа и каротажа сопротивления по разрезам скважин выполнялась стандартными петрофизическими расчетами. Для типизации характеристики геофизики аргиллитов баженовской свиты выполнен статистический анализ показаний методов потенциалов самопроизвольной поляризации, кажущегося сопротивления и гамма-каротажа. Карбонатность пород оценивалась по данным объемного газометрического метода.

Положения, выносимые на защиту

1. Геофизические и петрофизические показатели юрских пластов на месторождениях Томской области, не имеющих промышленных притоков углеводородов в доюрском комплексе, характеризуются удельным электрическим сопротивлением нефтенасыщенных пластов – 7-8 ом·м, водонасыщенных пластов – 3-4 ом·м, карбонатизацией – 2-3 %, а баженовская свита, как правило, отмечается вариациями потенциалов собственной поляризации – 3-6 мВ, уровнем естественной радиоактивности – 40-50 мкР/час и удельного электрического сопротивления – 50-130 ом·м.

2. Геофизические и петрофизические показатели юрских пластов на месторождениях Томской области, имеющих залежи углеводородов в доюрском комплексе,

характеризуются высокоомностью нефтенасыщенных пластов – 12-14 ом·м, водонасыщенных пластов – до 7 ом·м и высокой карбонатизацией – 5-6 %, а баженовская свита, как правило, отличается отсутствием вариаций потенциалов собственной поляризации, пониженным уровнем естественной радиоактивности – 30-40 мкР/час и удельного электрического сопротивления – 30-50 ом·м.

3. Геофизические и петрофизические характеристики юрского разреза территории Томской области являются прогностическими показателями нефтегазоносности доюрского комплекса, а именно: высокое удельное электрическое сопротивление юрских нефтенасыщенных пластов-коллекторов – (пороговое значение ≥ 10 ом·м); высокое удельное электрическое сопротивление юрских водонасыщенных пластов-коллекторов – (пороговое значение ≥ 7 ом·м); высокая карбонатность юрских пластов-коллекторов – (пороговое значение ≥ 5 %); незначительные вариации показаний метода потенциалов собственной поляризации аргиллитов баженовской свиты – (пороговое значение < 2 мВ); низкие показания гамма-каротажа аргиллитов баженовской свиты – (пороговое значение < 40 мкР/ч); низкие показания каротажа сопротивления аргиллитов баженовской свиты – (пороговое значение < 50 ом·м).

Характеристика исходных данных

В качестве нефтегеологической и структурной-фациальной основы исследований использованы карты Западно-Сибирской плиты В.А. Конторовича (2002) и А.Э. Конторовича (2003), геолого-формационная карта фундамента О.Г. Жеро с соавторами (2008), материалы Решений стратиграфических совещаний (2003, 2004) и Г.Д. Исаева (2007), данные геофизических исследований скважин и лабораторных исследований керн (материалы Томского филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по СФО»).

Степень достоверности результатов

1. Достоверность результатов аргументируется исследованиями на 8-ми представительных месторождениях, расположенных в разных структурно-фациальных зонах (СФЗ) по палеозою, но в одном структурно-фациальном районе (СФР) по келловей и верхней юре – в Пурпейско-Васюганском.

2. Достоверность результатов обеспечивается статистически значимой выборкой 224 глубоких скважин, представленных комплектом геофизических и геологических материалов.

3. Достоверность результатов подтверждается согласованностью расчета удельного электрического сопротивления юрских пластов с оценкой их карбонатности объемным газометрическим методом.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты докладывались на Международных симпозиумах студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова (Томск, 2013, 2014, 2017, 2018, 2020); на Всероссийской конференции с международным участием «Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы разработки» (Москва, 2013); на XV Уральской молодежной научной школе по геофизике (Екатеринбург, 2014); на Региональной научно-технической конференции молодых специалистов АО «ТомскНИПИнефть» (Томск, 2014, 2015); на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геофизические методы при разведке недр» (Томск, 2016); на конференции «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» (Пермь, 2019, 2020); на Трофимуковских чтениях (Новосибирск, 2019).

Основные положения диссертационной работы изложены в 22 публикациях диссертанта, в том числе 7 статей в журналах перечня ВАК, из них 3 индексируемые в Scopus и Web of Sciences, 1 статья опубликована в международном журнале, индексируемом в Web of Sciences.

Личный вклад автора

Автором, совместно с научным руководителем, сформулирована научная гипотеза и задача исследований. Лично автором собран, проанализирован и обобщен фактический материал по месторождениям и глубоким скважинам, выявлены отличительные геофизические и петрофизические характеристики юрских коллекторов и баженовской свиты, определены 6-ть характеристик юрского разреза как прогностических показателей нефтегазоносности доюрского разреза.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из 5 разделов, введения и заключения, общим объёмом 138 страниц, 37 иллюстраций, 22 таблицы, 111 источников литературы.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.г.-м.н. В.И. Исаеву. Автор признателен академику НАН Украины В.И. Старостенко, рекомендовавшего для публикации обобщенные материалы исследований,

профессору Г.А. Лобовой, профессору М.М. Немировичу-Данченко и доценту Г.Г. Номоконовой за совместные исследования и консультации. Автор благодарит руководителя ТФ ФБУ ТФГИ по СФО О.С. Исаеву за предоставление данных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Обзор проблемы

На большинстве месторождений Западно-Сибирской НПП промышленное значение имеют горизонты сеномана, неокома и, прежде всего, верхней юры. В настоящее время эти месторождения находятся на поздней стадии разработки, ресурсная база юрского горизонта в значительной степени исчерпана. В связи с этим, возникает необходимость повышения коэффициента извлечения нефти на действующих месторождениях, поисков и освоения зон нефтегазоаккумуляции в новых стратиграфических горизонтах, главным образом в сланцевой формации баженовской свиты, а также в доюрском нефтегазоносном комплексе (А.Э. Конторович, 2016).

Промышленная нефтегазоносность отложений в доюрском НГК выявлена на всей площади Западной Сибири (А.М. Брехунцов и др., 2011). Значительные работы по оценке нефтегазоносности доюрских отложений проводились на юго-востоке, на территории Томской области (Нюрольская мегавпадина), в пределах которой открыто 13 залежей углеводородов.

Для диссертационных исследований выбраны две территории на юго-востоке Западной Сибири, включающие месторождения разных типов. Одна территория выделена в составе Каймысовского нефтегазоносного района (НГР), которая характеризуется наличием месторождений с залежами УВ только в юрском НГК. Вторая территория выделена в составе Пудинского и Межовского НГР, которая характеризуется наличием месторождений с залежами как в юрском, так и доюрском НГК. В соответствии со схемой структурно-фациального районирования Западно-Сибирской плиты территории исследования расположены в одном структурно-фациальном районе (СФР) по келловее и верхней юре – в Пурпейско-Васюганском СФР (рисунок 1.1).

2. Предпосылки разрабатываемой научной гипотезы

Разные подходы к проблеме генезиса месторождений УВ в палеозойском НГК Западной Сибири привели к формированию двух основных концепций о нефтегазоносности палеозойских отложений. По первой концепции палеозойские отложения рассматриваются как комплекс с самостоятельным нефтегенерационным

потенциалом, приводящий к восходящей миграции УВ-флюидов. Обоснование второй концепции сводится к следующему. Анализ геохимической корреляции состава нефтей и битумоидов нефтематеринских пород, изотопного состава углерода и ЯМР-спектров нефтей выявляет нисходящую направленность вертикальной межпластовой миграции углеводородов из юрских свит в доюрский комплекс.

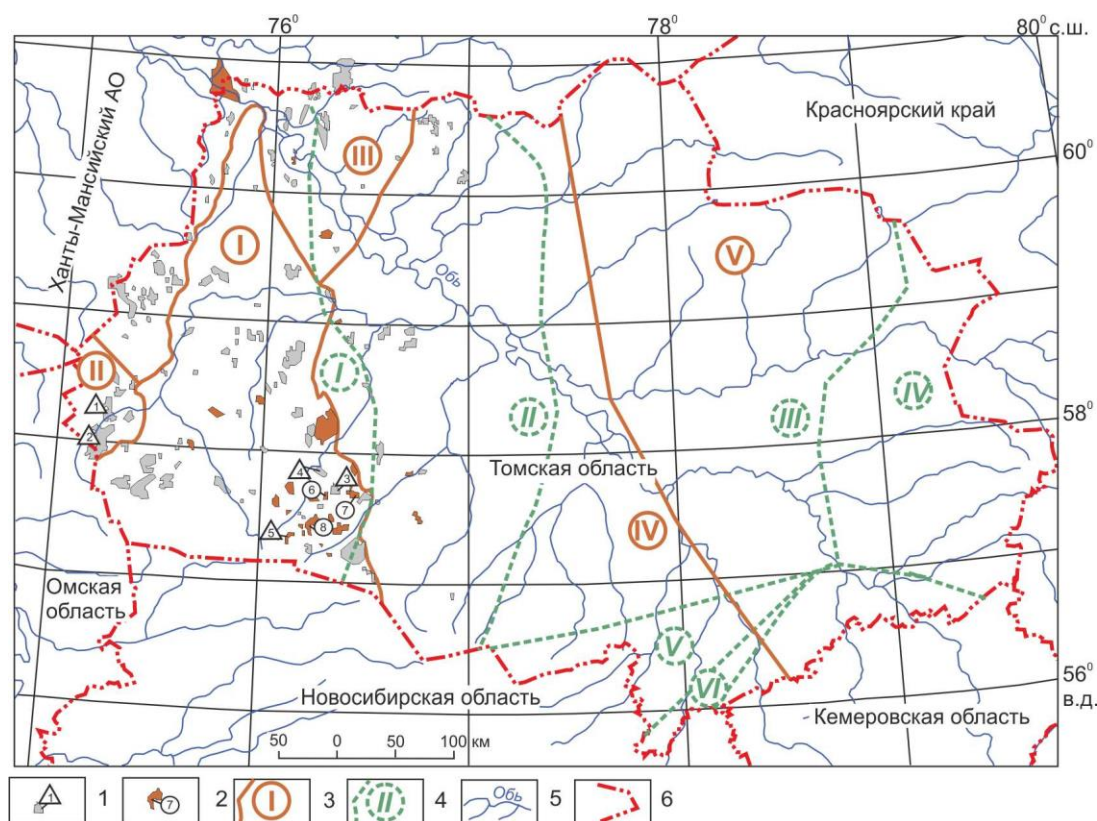


Рисунок 1.1. Обзорная схема территорий исследования на основе структурно-фациального районирования верхнеюрских и доюрских отложений. Месторождение с залежами: 1 – в верхнеюрском НГК (исследуемые месторождения: 1 – Двуреченское, 2 – Крапивинское, 3 – Западно-Останинское, 4 – Пельгинское; 5 – Смоляное); 2 – включая доюрский НГК (исследуемые месторождения: 6 – Герасимовское, 7 – Останинское, 8 – Нижнетабаганское); 3 – граница структурно-фациальной зоны по палеозойским отложениям (I – Нюрольская, II – Туйско-Барабинская, III – Никольская, IV – Колпашевская, V – Вездеходная); 4 – граница верхнеюрского структурно-фациального района (I – Пурпейско-Васюганский, II – Сильгинский, III – Ажарминский, IV – Чулымо-Тасеевский, V – Тебисский, VI – Баганский); 5 – речная сеть; 6 – административная граница Томской области.

Вместе с тем, как в следствии возможной восходящей, так и в следствии возможной нисходящей миграции химически агрессивной смеси УВ-флюидов происходят процессы наложенного эпигенеза, в результате которых горные породы испытывают вторичные преобразования, включая карбонатизацию транзитных пластов (И.А. Мельник, 2013). Следовательно, интенсивность вторичных процессов, выраженная в аномальности петрофизических характеристик транзитных пластов, может служить индикатором

присутствия очагов генерации, путей миграции и зон нефтесбора, т.е. может служить критерием их обнаружения.

Поэтому в качестве предпосылки нового *критерия прогнозирования и поисков палеозойских залежей УВ* сформулирована гипотеза аномальности петрофизических характеристик транзитных пластов – гипотеза «отражения» залежей палеозоя в геофизических параметрах перекрывающего мезозойского разреза (А.О. Алеева, В.И. Исаев, 2019).

3. Характеристика объектов, не имеющих промышленных притоков углеводородов в доюрском комплексе

3.1 Общая характеристика

Для сопоставительного обоснования гипотезы был проведен анализ геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза на Крапивинском, Двуреченском, Пельгинском и Смоляном месторождениях только с юрскими залежами нефти, на Западно-Останинском – с юрскими залежами и незначительными признаками УВ в керне доюрских образований. По палеозою Крапивинское и Двуреченское месторождения находятся в Туйско-Барабинской СФЗ. А Пельгинское, Смоляное и Западно-Останинское находятся в Нюрольской СФЗ (рисунок 1.1). Но по келловей и верхней юре эти месторождения относятся к одному СФР – Пурпейско-Васюганскому, т. е. все перечисленные месторождения сходны по особенностям юрского осадкообразования и тектонического строения. А возможные отличительные особенности геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза этих месторождений могли сформироваться в послейорское время, под воздействием вторичных эпигенетических процессов.

Ниже, в качестве примера, приводится анализ геофизических и петрофизических характеристик, а также оценка карбонатности юрского разреза Двуреченского нефтяного месторождения.

3.2 Характеристика Двуреченского нефтяного месторождения

Геология месторождения представлена терригенными отложениями мезозойско-кайнозойского платформенного чехла и метаморфизованными, дислоцированными образованиями различного состава доюрского фундамента. *Нефтегазоносность* Двуреченского месторождения составляют 4 продуктивных пласта: Ю₁¹, Ю₁², Ю₁^М и Ю₁³.

Основным продуктивным пластом и объектом разработки является пласт Ю₁³ (рисунок 3.1).

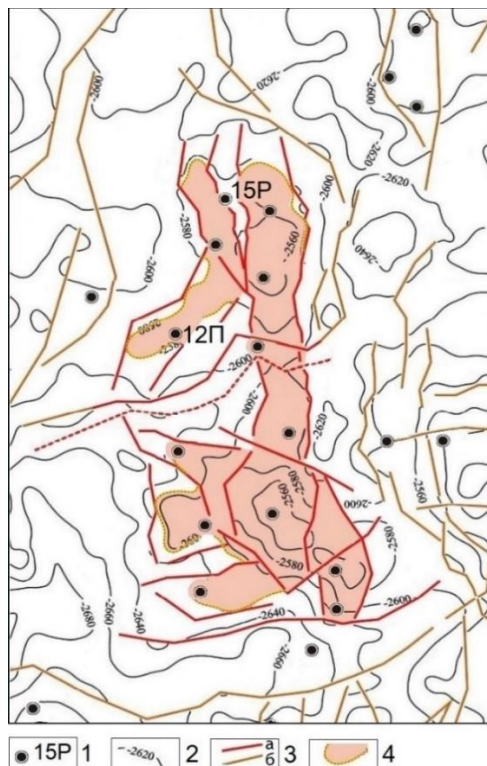


Рисунок 3.1. Схема Двуреченского нефтяного месторождения: 1 – скважина и ее номер; 2 – изогипса кровли подугольной пачки пласта Ю₁³, м; 3 – разрывное нарушение (а – установленное, б – предполагаемое); 4 – площадь нефтеносности по пласту Ю₁³.

Для иллюстрации данных геофизических исследований скважин, литологии и продуктивности юрских пластов-коллекторов Двуреченского месторождения приводятся разрезы скважин (рисунок 3.2) с различным характером насыщения пластов (скважина 12П с нефте- и нефтеводонасыщенными пластами и скважина 15Р с водонасыщенными пластами в юрской части разреза).

Юрский разрез скважин представлен песчаниками, глинами, плотными песчаниками, алевролитами, углями, которые стандартно отражаются в показаниях методов каротажа. Баженовская свита отличается аномальными показаниями геофизических методов и, в первую очередь, высоким сопротивлением по КС и высокой радиоактивностью по ГК.

Для оценки удельного электрического сопротивления юрских пластов-коллекторов были использованы данные геофизических исследований 14 скважин (таблица 3.1). Для характеристики аргиллитов баженовской свиты приводится анализ разрезов скважин 15Р и 12П (рисунок 3.2, таблица 3.2).

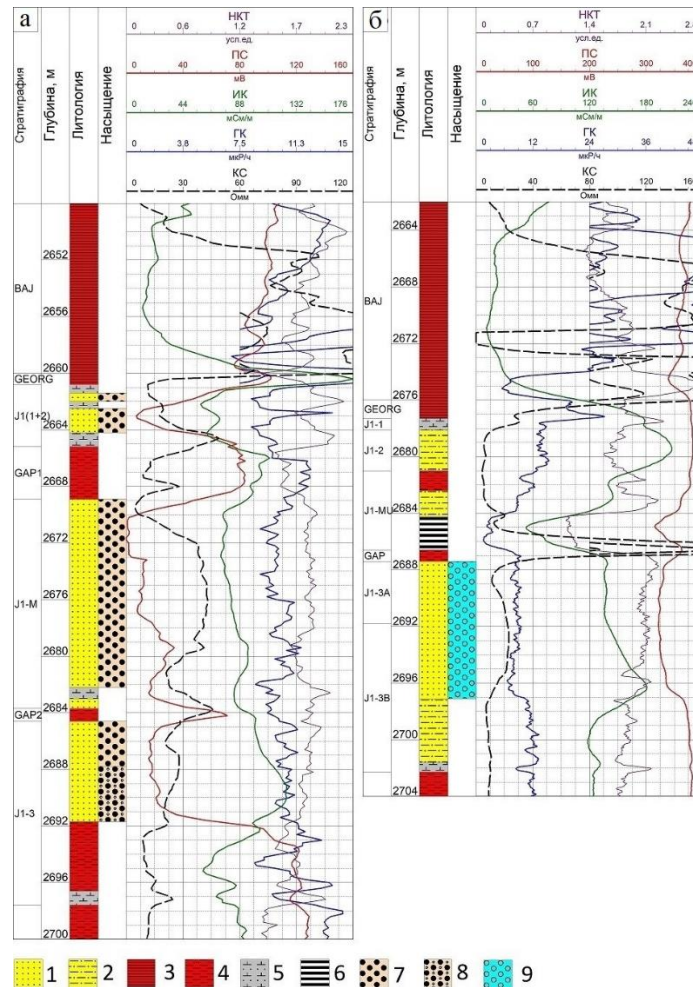


Рисунок 3.2. Двуреченское месторождение. Геофизическая характеристика разрезов скважин 12П (а) и 15Р (б) в интервалах баженовской (BAJ), георгиевской (GEORG) свит и пластов $Ю_1^1$ (J1-1), $Ю_1^2$ (J1-2), $Ю_1^M$ (J1-M), $Ю_1^{MV}$ (J1-MU), $Ю_1^3$ (J1-3), $Ю_1^{3A}$ (J1-3A), $Ю_1^{3B}$ (J1-3B): 1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – аргиллит; 4 – глина; 5 – карбонатная порода; 6 – уголь; 7 – нефтенасыщенный; 8 – нефтеводонасыщенный; 9 – водонасыщенный.

Таблица 3.1. Результаты расчета удельного электрического сопротивления ρ_p нефтенасыщенных (ρ_{np}) и водонасыщенных (ρ_{vp}) пластов Двуреченского месторождения.

Пласт	* ρ_{np} , ом·м	*коэффициент **пористости, д. е.	*коэффициент **нефтенасыщенности, д. е.	* ρ_{vp} , ом·м
$Ю_1^1$	6	0,16	0,48	1,9
$Ю_1^2$	7	0,15	0,60	3,6
$Ю_1^M$	7	0,16	0,54	—
$Ю_1^{3A}$	12	0,20	0,51	4,5
$Ю_1^{3B}$	7	0,15	0,45	4,6
(диапазон), среднее	(6,0–12,0), 7,8	(0,15–0,20), 0,16	(0,45–0,60), 0,52	(1,9–4,6), 3,6

*средневзвешенные значения по 14 скважинам

**для нефтенасыщенных пластов

Юрские пласты-коллекторы Двуреченского месторождения имеют заметно низкие значения удельного электрического сопротивления: для нефтенасыщенных пластов

УЭС=6-12 ом·м при среднем значении 8 ом·м, для водонасыщенных пластов УЭС=2-5 ом·м при среднем значении 4 ом·м.

Таблица 3.2. Значения геофизических параметров баженовской свиты разрезов скважин Двуреченского месторождения.

Скважина	Мощность, м	Вариации ПС, мВ	КС*, ом·м	ГК*, мкР/ч
15Р	13,7	± 5,0	249/111	120/59
12П	12,0	± 8,0	149/95	54/40

*максимальное значение/средний уровень.

Можно отметить *значительные вариации* диаграммы метода ПС и *весьма высокую* радиоактивностью и УЭС в интервале баженовской свиты как в продуктивной, так и в непродуктивной скважинах.

Анализ общей карбонатности пород ($S_{карб.}$) пластов-коллекторов проводился по 6 скважинам, определенной с помощью объемного газометрического метода. Установлено, что юрские разрезы характеризуются низким содержанием карбонатных минералов при среднем значении 1,1 %. В качестве иллюстрации на рисунке 3.3. приведены графики карбонатности образцов керна по 2 скважинам.

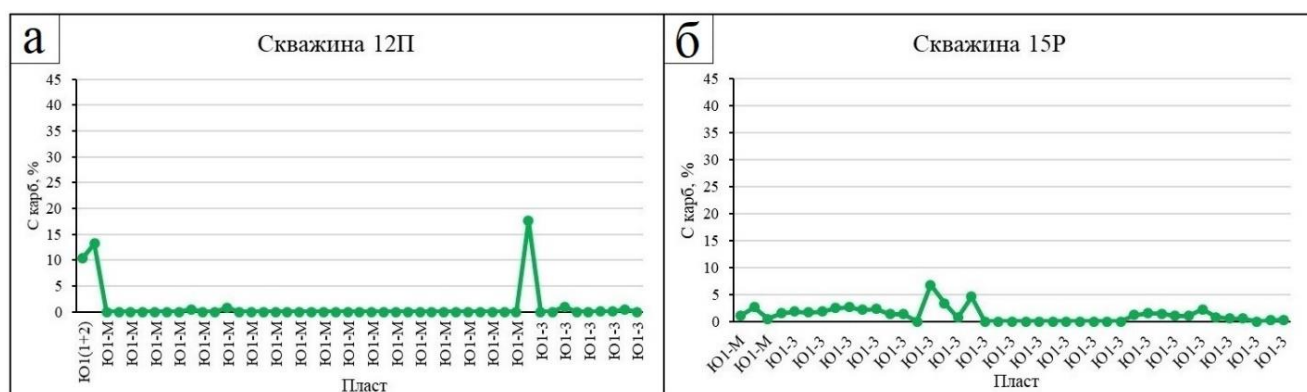


Рисунок 3.3. Карбонатность ($S_{карб.}$) образцов керна скважин 12П (а) и 15Р (б) Двуреченского месторождения.

3.3. Анализ и выводы

Анализ геофизики и петрофизики юрских разрезов месторождений Томской области, не имеющих промышленных притоков углеводородов в доюрском комплексе, показывает (таблица 3.3) отсутствие высокоомности нефтенасыщенных пластов – 7-8 ом·м и водонасыщенных пластов – 3-4 ом·м, невысокую карбонатизацию юрских пластов – 2-3 %, а баженовская свита, как правило, отличается вариациями ПС – 2-6 мВ, повышенным уровнем ГК – 40-50 мкР/час и КС – 50-130 ом·м.

Таблица 3.3. Геофизические и петрофизические характеристики юрского разреза месторождений без залежей в доюрском НГК.

Характеристики юрского разреза	Крапивинское	Двуреченское	Пельгинское	Смоляное	Западно-Останинское
1.УЭС юрских нефтенасыщенных пластов-коллекторов: диапазон; среднее , ом·м	6 – 8; 7	6 –12; 8	6 – 9; 7	6 – 8; 7	6 – 15; 10
2.УЭС юрских водонасыщенных пластов-коллекторов: диапазон; среднее , ом·м	3,0 – 3,2; 3	2 – 5; 4	3 – 5; 4	4 – 5; 5	3 – 4; 4
3.Карбонатность юрских пластов-коллекторов: диапазон; среднее , %	1 – 3; 2	1 – 2; 1,6	2 – 6; 3	2 – 3; 3	2 – 11; 5
4.Вариации (±) показаний метода ПС баженовской свиты: диапазон; среднее , мВ	2,0–4,8; 3,4	5,0–8,0; 6,5	1,6–2,5; 2,0	0,8–4,3; 2,0	1,1–2,0; 1,6
5.Показания метода ГК баженовской свиты: диапазон; среднее , мкР/час	42 – 56; 49	40 – 59; 50	33 – 39; 36	26 – 28; 27	17 – 38; 32
6.Показания метода КС баженовской свиты: диапазон; среднее , ом·м	92 – 174; 133	95 – 111; 103	35 – 66; 47	31 – 34; 32	52 – 114; 77

Исследуемые месторождения в значительной степени имеют схожие геофизические и петрофизические характеристики. Западно-Останинское месторождение остается исключением, требующим дополнительных исследований.

Можно сделать *выводы*, что как для Пельгинского и Смоляного, так и для Крапивинского и Двуреченского месторождений, не имеющих залежей в доюрском НГК, однозначно характерно отсутствие высокоомности и аномальной карбонатизации юрских пластов-коллекторов, т. е. отсутствие признаков вторичных, эпигенетических изменений пород под воздействием нисходящего/восходящего транзита УВ-флюидов.

Приведенный выше анализ и выводы обосновывают 1-е защищаемое положение.

4. Характеристика объектов, имеющих залежи углеводородов в доюрском комплексе

4.1 Общая характеристика

Герасимовское, Останинское и Нижнетабаганское месторождения с залежами углеводородов в юрском и доюрском НГК расположены в одном СФР по келловей и верхней юре – *Пурнейско-Васюганском СФР*, а также в одной *Нюрольской СФЗ* по палеозою (рисунок 1.1), т.е. эти месторождения сходны по особенностям доюрского

осадкообразования и тектонического строения, но, и, что важно, по особенностям юрского осадкообразования.

Ниже, в качестве примера, приводится анализ геофизических и петрофизических характеристик, а также оценка карбонатности юрского разреза Нижнетабаганского нефтегазоконденсатного месторождения.

4.2 Характеристика Нижнетабаганского нефтегазоконденсатного месторождения

В геологическом строении месторождения принимают участие палеозойские образования доплатформенного комплекса и мезозойско-кайнозойские осадочные отложения платформенного чехла. Литология доплатформенного комплекса представлена известняками, карбонатно-кремнисто-глинистыми породами коры выветривания, а юрские пласты представлены песчаниками и алевролитами. *Нефтегазоносность* Нижнетабаганского месторождения связана с отложениями васюганской свиты – пласт Ю₁¹, тамбаевской свиты – пласты Ю₃, Ю₅ и доюрского фундамента – пласты М, М₁₋₁₀ (рисунок 4.1).

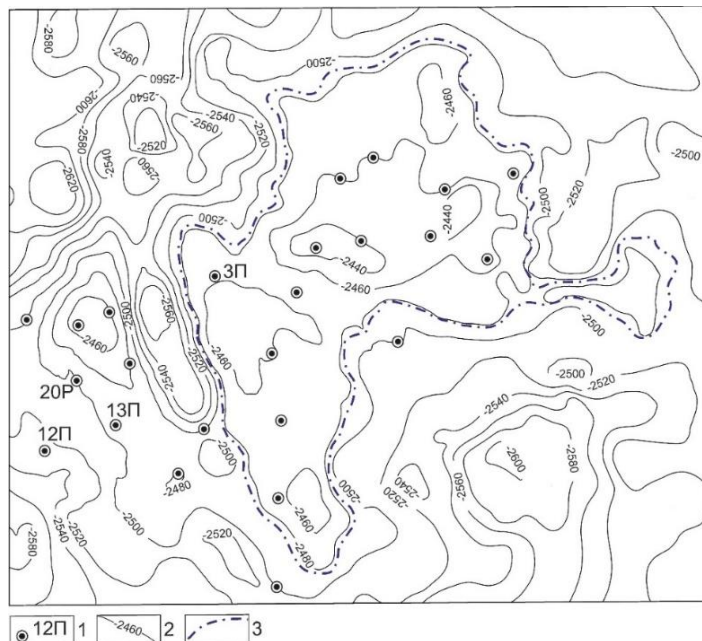


Рисунок 4.1. Схема Нижнетабаганского нефтегазоконденсатного месторождения: 1 – скважина и ее номер; 2 – сейсмоизоги́пса кровли пласта Ю₁¹; 3 – контур ВНК по пласту Ю₁¹.

Для иллюстрации данных геофизических исследований скважин, литологии и продуктивности Нижнетабаганского месторождения приводятся разрезы скважин (рисунок 4.2) с различным характером насыщения юрских пластов (скважина 3П с нефте- и газонасыщенными пластами, а скважина 12П с водонасыщенными пластами).

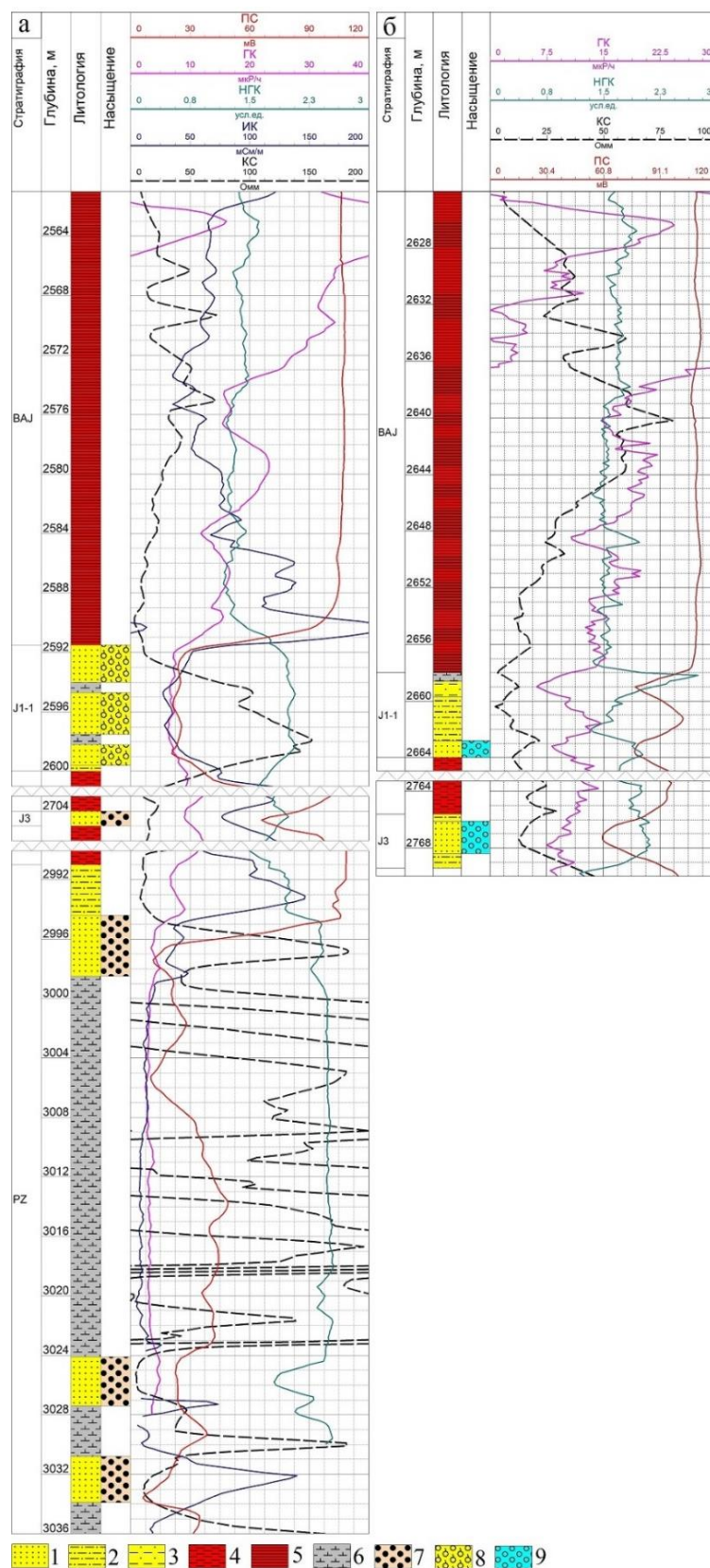


Рисунок 4.2. Нижнетабаганское месторождение. Геофизическая характеристика разрезов скважин 3П (а) и 12П (б) в интервалах баженовской свиты (BAJ), юрских пластов Ю₁¹ (J1-1), Ю₃ (J3) и палеозойских образований (Pz): 1 – песчаник; 2 – алевролит; 3 – песчаник глинистый; 4 – глина; 5 – аргиллит; 6 – карбонатная порода; 7 – нефтенасыщенный интервал; 8 – газонасыщенный; 9 – водонасыщенный.

Разрез юрских отложений начинается с битуминозных аргиллитов баженовской свиты. Баженовская свита фиксируется классической комплексной геофизической аномалией: высокой радиоактивностью, низкой электропроводностью. Породы васюганской свиты характеризуются резкой изменчивостью геофизических параметров в связи с присутствием в разрезе пород-коллекторов, а также глинистых песчаников, алевролитов, глинистых образований, карбонатизированных прослоев, имеющих однозначную геофизическую характеристику на каротажных диаграммах. Характерной особенностью юрского разреза является осязаемое проявление карбонатизации пород. Плотные карбонатные пропластки выделяются по аномально высоким показаниям метода НГК, низким показаниям ГК.

Для оценки удельного электрического сопротивления юрских пластов-коллекторов были использованы данные геофизических исследований 23 скважин (таблица 4.1). Для характеристики баженовской свиты приводится анализ разрезов скважин 20Р, 3П, 12П и 13П (рисунок 4.2, таблица 4.2).

Таблица 4.1. Результаты расчета удельного электрического сопротивления $\rho_{\text{нп}}$ нефтенасыщенных ($\rho_{\text{нп}}$) и водонасыщенных ($\rho_{\text{вп}}$) юрских пластов Нижнетабаганского месторождения.

Пласт	* $\rho_{\text{нп}}$, ом·м	*коэффициент **пористости, д. е.	*коэффициент **нефтенасыщенности, д. е.	* $\rho_{\text{вп}}$, ом·м
Ю ₁ ¹	10	0,17	0,61	8,2
Ю ₂	12	0,15	0,55	5,9
Ю ₃	14	0,15	0,58	5,8
Ю ₄	-	0,14	0,48	8,6
Ю ₅	-	0,16	0,39	5,6
(диапазон), <i>среднее</i>	(10–14), 12	(0,14–0,17), 0,15	(0,39–0,61), 0,52	(5,6–8,6), 6,8

*средневзвешенные значения по 23 скважинам

**нефтенасыщенных пластов

Юрские пласты-коллекторы Нижнетабаганского месторождения имеют *высокие* значения удельного электрического сопротивления: для нефтенасыщенных пластов УЭС=10-14 ом·м при среднем значении 12 ом·м, для водонасыщенных пластов УЭС=6-9 ом·м при среднем значении 7 ом·м.

Таблица 4.2. Значение геофизических параметров баженовской свиты в разрезах скважин Нижнетабаганского месторождения.

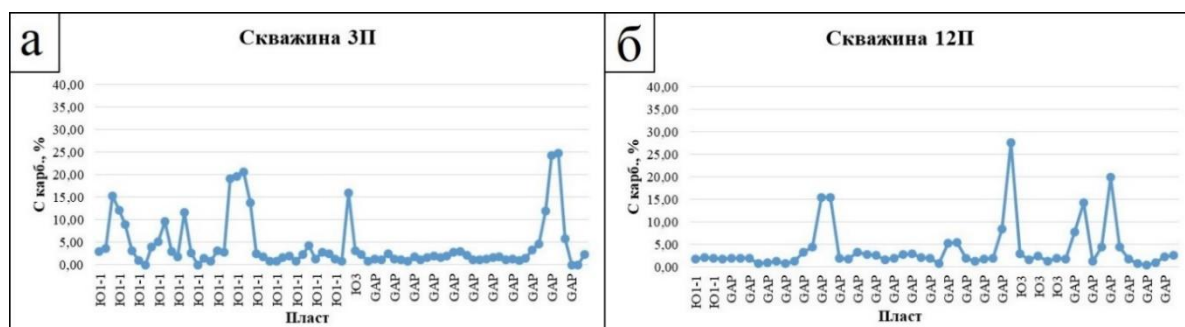
Скважина	Мощность, м	Вариации ПС, мВ	КС*, ом·м	ГК*, мкР/ч
20Р	27,0	± 1,3	78/38	67/30
3П	19,0	± 0,7	72/33	56/31
13П	35,0	± 1,1	74/28	72/27
12П	34,0	± 1,4	80/34	56/23

*максимальное значение/средний уровень

На Нижнетабаганском месторождении *отсутствие значительных вариаций ПС* вероятно свидетельствует о ее более однородном (выравненном?) составе, а сравнительно *низкий уровень УЭС и естественной радиоактивности* говорит о более бедном (обедненном?) содержании органического вещества.

Важно обратить внимание на изменение естественной радиоактивности и УЭС в интервале баженовской свиты (рисунок 4.2). Радиоактивность увеличивается от подошвы к кровле и в основном совпадает с менее выраженным ростом УЭС. Так что верхняя часть свиты является одновременно и более радиоактивной, и более высокоомной, а, следовательно, и более битуминозной. Нижняя часть свиты, соответственно, обеднена органическим веществом.

Анализ общей карбонатности пород ($C_{\text{карб.}}$) юрских пластов-коллекторов проводился по 23 скважинам. Установлено, что юрские разрезы характеризуются содержанием карбонатных минералов в диапазоне 3,1-6,5 %, при *высоком* среднем значении 5 %. Иллюстрация – на рисунке 4.3.



в доюрском комплексе, есть следствие нисходящей/восходящей миграции УВ-флюидов, или обеспечивающей нефтесбор в ловушках доюрского НГК или являющейся элизией углеводородов доюрского НГК, как самостоятельного генерирующего комплекса. Процессы эпигенеза приводят к вторичной, наложенной, и, как следствие, *аномальной* карбонатизации транзитных пластов-коллекторов, а, следовательно, к аномальному увеличению их УЭС.

Таблица 4.3. Геофизические и петрофизические характеристики юрского разреза месторождений с залежами в юрском и доюрском НГК.

Характеристики юрского разреза	Герасимовское	Останинское	Нижнетабаганское
1. УЭС юрских нефтенасыщенных пластов-коллекторов: диапазон; среднее , ом·м	8 – 20; 13	11 – 21; 14	10 – 14; 12
2. УЭС юрских водонасыщенных пластов-коллекторов: диапазон; среднее , ом·м	2 – 3; 3	5 – 9; 7	6 – 9; 7
3. Карбонатность юрских пластов-коллекторов: диапазон; среднее , %	4 – 8; 5	1 – 16; 6	3 – 9; 5
4. Вариации ($\pm$) показаний метода ПС баженовской свиты: диапазон; среднее , мВ	0,8–2,1; 1,5	0,5–2,5; 1,5	0,7–1,4; 1,1
5. Показания метода ГК баженовской свиты: диапазон; среднее , мкр/час	26 – 33; 30	36 – 44; 40	23 – 31; 28
6. Показания метода КС баженовской свиты: диапазон; среднее , ом·м	39 – 53; 46	32 – 42; 38	28 – 38; 33

Таким образом наличие прогностного, косвенного признака (высокое УЭС) и прямого, вещественного признака (высокая карбонатизация) эпигенетических изменений пород юрских пластов под воздействием нисходящего/восходящего транзита УВ-флюидов может служить прогностическим критерием нефтегазоносности палеозоя.

Отсутствие вариаций ПС в интервале баженовской свиты может свидетельствовать о ее более однородном (выравненном?) составе, а низкий уровень УЭС и естественной радиоактивности о более бедном (обедненном?) содержании органического вещества. Что может рассматриваться как следствие возможной нисходящей миграции УВ.

Приведенный выше анализ и выводы обосновывают 2-е защищаемое положение.

5. Прогностические геофизические и петрофизические показатели нефтегазоносности доюрского комплекса

С уверенностью можно полагать, что высокоомность транзитных юрских пластов Нижнетабаганского, Герасимовского и Останинского месторождений, имеющих залежи в доюрском НГК, есть следствие нисходящей/восходящей миграции УВ-флюидов. В результате вертикальной миграции химически агрессивных УВ-флюидов в юрском разрезе происходят процессы наложенного эпигенеза, приводящие к вторичной,

аномальной карбонатизации транзитных пластов-коллекторов, и, как следствие, к аномальному увеличению их УЭС.

Можно полагать вероятным, что на Нижнетабаганском, Герасимовском и Останинском месторождениях отсутствие вариаций ПС, низкий уровень УЭС и естественной радиоактивности обусловлены выравненным вещественным составом свиты, обедненным содержанием органического вещества. Замеченные отличия геофизической характеристики баженовской свиты месторождений, имеющих залежи в доюрском НГК, пока остаются артефактом, не имеющим однозначного генетического обоснования.

Суммируя вышеизложенные результаты проведенных исследований можно выделить 6-ть геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза как прогностических показателей нефтегазоносности доюрского (палеозойского) разреза (таблицы 3.3, 4.3):

- *показатель 1* – высокое УЭС юрских нефтенасыщенных пластов-коллекторов (пороговое значение ≥ 10 ом·м);
- *показатель 2* – высокое УЭС юрских водонасыщенных пластов-коллекторов (пороговое значение ≥ 7 ом·м);
- *показатель 3* – высокая карбонатность юрских пластов-коллекторов (пороговое значение ≥ 5 %);
- *показатель 4* – незначительные вариации ($\pm$) показаний метода ПС баженовской свиты (пороговое значение < 2 мВ);
- *показатель 5* – низкие показания ГК баженовской свиты (пороговое значение < 40 мкР/ч);
- *показатель 6* – низкие показания КС баженовской свиты (пороговое значение < 50 ом·м).

В контексте содержательной нагрузки, показателям с порядковыми номерами 1, 2 и 3 присвоена важность 1-го ранга (вес=2). Остальным показателям, в том же контексте, присваивается важность 2-го ранга (вес=1), что представляется соразмерным.

С помощью таблицы 5.1 оценим репрезентативность принятых прогностических показателей и их пороговых значений, с учетом присвоенной им важности (ранга).

Таблица 5.1. Корреляционная таблица прогностических показателей нефтеносности доюрского разреза месторождений.

Прогностический показатель	Месторождения без залежей в доюрском НГК				Месторождения с залежами в доюрском НГК			Месторождение с неясной нефтеносностью доюрского НГК
	Крапивинское	Двуреченское	Пельгинское	Смоляное	Герасимовское	Останинское	Нижнетабаганское	Западно-Останинское
1.УЭС юрских нефтенасыщенных пластов-коллекторов.	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»
2.УЭС юрских водонасыщенных пластов-коллекторов.	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«-»«-»	«+»«+»	«+»«+»	«-»«-»
3.Карбонатность юрских пластов-коллекторов.	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»	«+»«+»
4.Вариации (±) показаний метода ПС баженовской свиты.	«+»	«+»	«+» «-»	«+» «-»	«+»	«+»	«+»	«+»
5.Показания метода ГК баженовской свиты.	«+»	«+»	«-»	«-»	«+»	«+» «-»	«+»	«+»
6.Показания метода КС баженовской свиты.	«+»	«+»	«-»	«-»	«+»	«+»	«+»	«-»
Условная оценка вероятности* правильного прогноза (по комплексу показателей – 1-6), %	100	100	70	70	78	90	100	67
Условная оценка вероятности* правильного прогноза (по показателям 1-го ранга – 1-3), %	100	100	100	100	67	100	100	67

Примечание: «+» – соответствие пороговому значению показателя 2-го ранга; «+»«+» – соответствие пороговому значению показателя 1-го ранга; «-» – не соответствие пороговому значению показателя 2-го ранга; «-»«-» – несоответствие пороговому значению показателя 1-го ранга; * – условная оценка вероятности рассчитана отношением: количество показателей «+»/сумма показателей «+» и «-».

Анализ позволяет сделать следующие выводы:

- 1) применение для прогноза нефтеносности (для промыслового диагноза) доюрского разреза комплекса показателей, включающего показатели 1-го и 2-го рангов, может обеспечить вероятность правильного прогноза в пределах 70-100%;
- 2) для достигающей 100% вероятности правильной промысловой диагностики доюрского разреза *месторождения без залежей в доюрском НГК* может быть достаточным применение только показателей 1-го ранга;
- 3) вероятность правильной промысловой диагностики доюрского разреза *месторождения с залежами в доюрском НГК* только показателями 1-го ранга может составить 67%;
- 4) вероятность правильной промысловой диагностики доюрского разреза *месторождения с залежами в доюрском НГК* комплексом показателей 1-го и 2-го ранга может составить не менее 78%.

Для поисковой ситуации, когда на площади прогноза имеются скважины только с водонасыщенными юрскими пластами, нужно привести следующие выводы:

- 1) вероятность правильной диагностики палеозоя *на площади с залежами в доюрском НГК* только показателями 1-го ранга (2+3) может составить 50%, т. е. *весьма вероятен «пропуск» площади, продуктивной по палеозою;*
- 2) вероятность правильной диагностики палеозоя *на площади с залежами в доюрском НГК* комплексом показателей может составить не менее 71%, т.е. *это весьма надежный поисковый прогноз.*

Из рассмотрения таблицы 5.1 может последовать вывод, что *достаточно показателя 3 (1-го ранга) для правильной диагностики с вероятностью, достигающей 100%.* Однако, получение показателя «карбонатность юрских пластов-коллекторов» требует лабораторных исследований газометрическим методом, дополняемом специальными литогеохимическими или интерпретационными геофизическими исследованиями. Да и в контексте общей методологии геологического поиска, *комплексирование показателей 1-6 предпочтительно*, если геологический процесс один, а физико-химическая природа показателей разная.

Отдельно нужно сказать о Западно-Останинском месторождении (таблицы 3.3, 5.1). Если это месторождение условно рассматривать как объект прогноза, то при всех названных вариантах поисковой ситуации вероятность правильного прогноза составляет 50-57%. Как видим, и такой прогноз оставляет неясной, неопределенной нефтегазоносность доюрского НГК Западно-Останинского месторождения.

Приведенные выше выводы обосновывают 3-е защищаемое положение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе выполнен сопоставительный анализ геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза Крапивинского, Двуреченского, Пельгинского и Смоляного месторождений, имеющих только юрские залежи нефти. Установлено, что юрские пласты-коллекторы этих месторождений схожи *отсутствием высокоомности* нефтенасыщенных и водонасыщенных пластов, а также *низкой* их карбонатизацией. А баженовская свита характеризуется *значительными вариациями* показаний метода ПС, *высоким* уровнем УЭС и естественной радиоактивности.

Выполнен сопоставительный анализ геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза Герасимовского, Останинского и Нижнетабаганского месторождений, имеющих залежи углеводородов в доюрском НГК. Установлено, что юрские пласты-коллекторы этих месторождений отличаются *высокоомностью* нефтенасыщенных и водонасыщенных пластов, *высокой* их карбонатизацией. А баженовская свита характеризуется *незначительными вариациями* показаний метода ПС, *низким* уровнем УЭС и естественной радиоактивности.

Таким образом, *научная гипотеза* «отражения» залежей палеозоя в геофизических и петрофизических параметрах перекрывающего мезозойского разреза, как нового критерия прогнозирования и поисков палеозойских залежей углеводородов, получила авторское обоснование. Определены 6-ть геофизических и петрофизических характеристик юрского разреза как прогностических показателей для оценки нефтегазоносности доюрского (палеозойского) разреза на землях Томской области.

Большой интерес представляет *дальнейшая детализация* оценки карбонатности юрских пластов с использованием комплекса способов, включая технологию определения интенсивности вторичных геохимических процессов по материалам промысловой геофизики, а также применение технологии прикладных литогеохимических исследований.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях перечня ВАК, индексируемых Scopus и Web of Sciences

1. Алеева, А.О. Сравнительная петрофизическая характеристика разрезов Герасимовского и Крапивинского месторождений (в связи с нефтегазоносностью доюрских отложений) [Текст] / А.О. Алеева, В.И. Исаев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 9. – С. 21–31.
2. Алеева, А.О. Сравнительная петрофизическая характеристика юрских разрезов Останинского и Двуреченского месторождений (в связи с нефтегазоносностью доюрских отложений Томской области) [Текст] / А.О. Алеева, В.И. Исаев, Г.А. Лобова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 9. – С. 49–62.
3. Исаев, В.И. Палеотемпературное моделирование очагов генерации углеводородов и их роль в формировании залежей «палеозойской» нефти (Останинское месторождение, Томская область) [Текст] / В.И. Исаев, М.Ф. Галиева, А.О. Алеева, Г.А. Лобова, В.И. Старостенко, А.Н. Фомин // Георесурсы. – 2021. – № 1. – (в печати).

Публикации в изданиях перечня ВАК

4. Мельникова, Н.А. Сильная деформация анизотропных сред по плоскостям скольжения (конечно-разностное моделирование) [Текст] / Н.А. Мельникова, М.М. Немирович-Данченко, Т.И. Чичина, М.Э.Э.Р. Кпата, А.О. Алеева // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61. – № 12/2. – С. 59–63.
5. Алеева, А.О. Сравнительная петрофизическая характеристика юрских разрезов Герасимовского и Крапивинского месторождений (в связи с нефтегазоносностью доюрских отложений Томской области) [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15. – № 2. – С. 1–20. – http://www.ngtp.ru/upload/iblock/969/18_2020.pdf
6. Галиева, М.Ф. Очаги генерации углеводородов и их аккумуляция в доюрском разрезе Сельвейкинской площади глубокого бурения (Томская область) [Электронный ресурс] / М.Ф. Галиева, А.О. Алеева, В.И. Исаев // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15. – № 3. – С. 1–16. – http://www.ngtp.ru/upload/iblock/9e2/26_2020.pdf
7. Алеева, А.О. Сравнительная петрофизическая характеристика юрских разрезов месторождений Томской области (в связи с нефтегазоносностью доюрских отложений) [Электронный ресурс] / А.О. Алеева, Г.А. Лобова, Е.Н. Осипова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 15. – № 4. – С. 1–21. – http://www.ngtp.ru/upload/iblock/ec0/43_2020.pdf

Публикации в изданиях, индексируемых Web of Sciences

8. Исаев, В.И. О природе палеозойских залежей нефти и их поисковом «отражении» в геофизическом разрезе юрских пластов (юго-восток Западной Сибири) [Текст] / В.И. Исаев, А.О. Алеева, Г.А. Лобова, О.С. Исаева, В.И. Старостенко // Геофизический журнал. – 2021. – Т. 43. – № 1. – (в печати).