На правах рукописи



Ильязов Ринат Расимович

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ПРОФИЛЯ ПРИТОКА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ПРИ БУРЕНИИ ПУТЕМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ ГАЗОВОГО КАРОТАЖА И СЕКВЕНИРОВАНИЯ ДНК МИКРОБИОТЫ ШЛАМА

Специальность 1.6.9. «Геофизика»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва
2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ).

Научный руководитель: **Шахвердиев Азизага Ханбаба оглы,** доктор технических наук, заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) (г. Москва).

Официальные оппоненты: **Федоров Вячеслав Николаевич,** доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории волновых процессов в бурении нефтяных и газовых скважин, Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН, филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (НЦ НВМТ РАН) (г. Москва).

Ульянов Владимир Николаевич, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Новосибирский научно-технический центр» (г. Новосибирск).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН) (г. Москва).

Защита состоится 24 декабря 2026 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.087.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), в большом конференц-зале главного корпуса по адресу: г. Новосибирск, Проспект Академика Коптюга, д. 3.

Отзыв в одном экземпляре, оформленный в соответствии с требованиями Минобрнауки России, просим направлять по адресу: просп. Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, факс: (8-383) 330-28-07, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ИНГГ СО РАН: http://www.ipgg.sbras.ru/dissertations/iliazov2026/dis-Ilyazov.pdf

Автореферат разослан «03» ноября 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.087.02,

доктор геолого-минералогических наук Е.А. Мельник

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В Российской Федерации доля трудноизвлекаемых и нерентабельных запасов превышает, по разным официальным оценкам, пятидесятипроцентный рубеж. Эффективная разработка таких месторождений все больше опирается на бурение скважин с горизонтальным окончанием, проводка которых требует оперативной геонавигации в процессе бурения, а также точных и оперативных данных о геологическом строении вскрываемого разреза и насыщении коллектора флюидом. Поэтому наиболее востребованными и актуальными являются оперативные геофизические методы исследования скважин в процессе бурения (далее по тексту-LWD, от анг. Logging While Drilling) и их комплексирование. В последние годы развитие подобных методов позволило с большой точностью получать информацию о траектории ствола скважины, вскрываемом разрезе залежи и насыщенности флюида. Несмотря на это, все еще остро стоит проблема несоответствия фактических пусковых дебитов расчетным, что связано с прохождением горизонтального ствола скважины в нецелевом интервале. Это обусловлено бурением в маломощных продуктивных горизонтах и наличием зоны непромера-расстояния от долота до точки записи данных регистрирующего прибора. В результате этого информация о типе породы, насыщении флюидом и ее свойствах поступает с задержкой, соответствующей расстоянию от 7 до 24 м (в среднем 12 м). Всегда есть вероятность того, что долото уже разбуривает породы нецелевого интервала, поскольку показания приборов каротажа еще не «дошли» до этой глубины непромера. В итоге последующий «возврат» в целевой пласт, а точнее, корректировка траектории ствола скважины, влечет за собой уменьшение проходки по продуктивной части горизонтального ствола скважины и, как следствие, снижения продуктивности скважины (рис. 1). Проведение предварительного более полного комплекса ГИС перед заканчиванием скважины зачастую является экономически нецелесообразным ввиду высокой стоимости работ и риска возникновения осложнений ствола скважины.

Одним из решений имеющихся проблем является адаптация существующих методов и привлечение инновационных технологий и методик из других отраслей науки. Одно из таких решений-газовый каротаж, проводимый станцией геолого-технологических исследований (ГТИ). Метод позволяет решать целый комплекс задач, в том числе: оперативное выделение в разрезе скважины перспективных на нефть и газ пластов-коллекторов, изучение их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и характера флюидонасыщения. Поэтому газовый каротаж занимает важное место среди других видов каротажа как дополнительный источник информации для геонавигации и определения границ флюидных контактов при бурении скважин.

Еще одним из перспективных научных направлений, способных дополнить решение проблемы, является изучение микробиома нефтегазовых

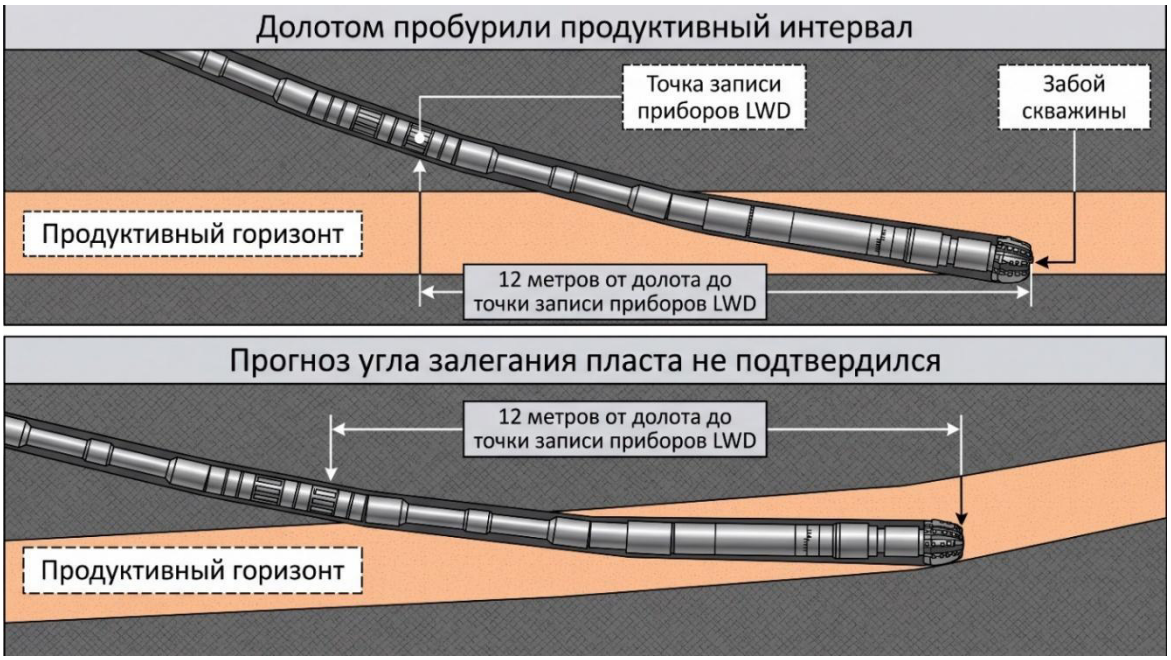


Рисунок 1– Пример выхода из продуктивного слоя при вскрытии пласта

месторождений. Применение методов секвенирования нового поколения позволяет надежно идентифицировать природные биомаркеры на основе их набора дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), а также вести мониторинг их наличия и концентрации в различных технологических процессах нефтедобычи. В ходе пилотных работ показано, что данная информация может быть использована в процессе бурения скважины для оценки нефтенасыщенности коллекторов при прогнозировании и последующей оценке профиля притока в горизонтальных и наклонно-направленных скважинах при оптимизации проектировании гидравлического разрыва пласта (ГРП).

В связи с вышесказанным разработка и внедрение методики прогноза профиля притока на основе данных газового каротажа и данных микробиома бурового шлама, может послужить источником информации для более эффективной проходки скважины, ее последующего заканчивания и эксплуатации, и потому представляется весьма актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования

Вопросами развития газового каротажа занимались многие ученые и специалисты в России и за рубежом, в частности В.А. Соколов, Э.Е. Лукьянов, Л.И. Померанц, Г.И. Эпштейн и другие.

В первые годы становления метода его эффективность была невысокой, и данные газового каротажа редко использовались при оперативной интерпретации промыслово-геофизических данных. Благодаря автоматизации и развитию методик интерпретации зарегистрированных данных, появилась возможность определять содержание нефти и газа в

пластовых условиях в единице объема пласта с помощью нового предложенного параметра – приведенных газопоказаний. С тех пор конструкции приборов и методы анализа, данных газового каротажа постоянно развивались.

В работе также уделено внимание исследованиям микробных сообществ в нефтяных резервуарах и влиянию преобладающих условий существования на их состав. Наиболее известными учеными и практиками по данному направлению в России и за рубежом являются Б.Л. Исаченко, С.С. Беляев, Т.Н. Назина и другие.

В процессе исследований нефтяных пластов показано, что микроорганизмы научились выживать в экстремальных условиях окружающей среды в подземных нефтяных резервуарах, где микробиомы находятся изолированными от поверхности Земли на протяжении миллионов лет. Нефтяные месторождения содержат широкий спектр ниш для существования множества бактерий и архей, таких как сульфат-, нитрат-, и железоредукторы, ацетогены и метаногены.

Вопросами развития методов определения профиля притока в горизонтальных скважинах занимались многие ученые и специалисты в России, которые внесли значительный вклад в развитие этой области, особенно в условиях освоения трудноизвлекаемых запасов и месторождений со сложным геологическим строением. Фундаментальные работы принадлежат пионерам советской школы разработки месторождений горизонтальными скважинами: Ю.П. Борисову, В.П. Табакову, И.А. Чарному и другим. Современные отечественные исследователи, формирующие фундамент современных подходов к определению профиля притока в горизонтальных скважинах: М.И. Кременецкий, А.И. Ипатов, Д.Н. Гуляев и другие. Наиболее цитируемыми авторами по данной тематике являются Ding Zhu, A. Daniel Hill, Kenji Furui и S.D. Joshi.

Для прогнозирования профиля притока в горизонтальных скважинах, в настоящее время применяются полуаналитические модели, учитывающие неоднородность коллектора, перепад давления в стволе скважины и эффекты повреждения призабойной зоны. Эти модели в теории должны позволить прогнозировать распределение притока вдоль горизонтального участка с учетом различных факторов, включая анизотропию проницаемости и наличие естественных трещин. Однако данные модели далеко не всегда подтверждаются на практике в связи с использованием недостоверных данных или их неполнотой. Решением, по мнению автора, может быть создание новых методик на основе уже имеющихся источников информации, и привлечение инновационных технологий и методик из других научных направлений.

Цель исследования: повысить достоверность определения профиля притока в горизонтальных скважинах на этапе бурения, на основе

имеющихся данных газового каротажа и анализа ДНК микробиоты бурового шлама.

Задачи исследования:

1. Подтвердить информативность данных газового каротажа в процессе бурения горизонтальных скважин путем их корреляции с данными ГИС (плотностного каротажа, ЯМК), проводимых в процессе бурения горизонтальных скважин, для целей оперативного выделения интервалов-коллекторов, типа их насыщения, а также для оперативного выделения интервалов нахождения нефти с повышенной относительной вязкостью.
2. Разработать методику оперативного прогноза профиля притока в горизонтальных скважинах на основе данных газового каротажа, проводимого в процессе бурения скважины, и данных секвенирования ДНК микробиоты бурового шлама.

Основные этапы выполнения научно-исследовательской работы:

1. Выполнен анализ мирового опыта использования в современной нефтегазовой отрасли методов газового каротажа и исследования ДНК микробиоты бурового шлама.
2. Проанализированы факторы, влияющие на эффективность практического применения газового каротажа в процессе бурения горизонтальных скважин.
3. Осуществлена обработка и интерпретация обширной выборки данных газового каротажа по 466 скважинам, записанных в процессе бурения горизонтальных скважин, и данных ГИС.
4. Проведена интерпретация данных комплекса ГИС, записанного в процессе бурения горизонтальных скважин, и их комплексирование с данными газового каротажа и данными исследований ДНК микробиоты бурового шлама, полученного в процессе бурения горизонтальной скважины, с использованием лабораторных методов.
5. Проведена интерпретация данных комплекса ГИС-ЯМК, записанного в процессе бурения горизонтальных скважин, и их комплексирование с данными газового каротажа для определения зон нахождения нефти с повышенной вязкостью.

В качестве **методов исследования** использовались: сопоставление разномасштабной геолого-геофизической информации, сравнительный анализ результатов, полученных на изучаемом месторождении, с результатами исследований на месторождениях-аналогах, математическое моделирование, методы теории вероятностей и математической статистики, графоаналитические подходы к решению задач. При исследованиях использовалось современное программное обеспечение: «Горизонт+» для интерпретации данных ГИС и ГТИ, «QIIME2^{tm}» для биоинформатического анализа микробиоты бурового шлама, «Python» для статистического анализа сходимости данных ГТИ и ГИС.

Защищаемые научные результаты:

1. Доказанная информативность методов сбора и интерпретации данных геолого-технологических исследований скважин (газового каротажа) на основе каротажной информации (ГИС), полученной в процессе геофизического сопровождения проводки горизонтальных скважин, обеспечивающая:

а) оперативное выделение интервалов-коллекторов, оценку типа их насыщения и литологических границ (кровля/подошва);

б) выделение интервалов нахождения нефти с повышенной относительной вязкостью.

2. Методика оперативного прогноза профиля притока в горизонтальных скважинах на этапе бурения, основанная на интегрированном анализе многопараметровой и разнородной информации, включающей геофизические данные (результаты газового каротажа) и данные секвенирования ДНК микробиоты шлама. Работоспособность методики подтверждается:

а) верификацией прогноза профиля притока по данным газового каротажа на основе технологий сбора геофизических данных стандартных ПГИ;

б) подтверждением точности комплексного прогноза (газовый каротаж и секвенирование ДНК микробиоты) результатами эталонных ПГИ.

Научная новизна диссертационной работы определяется следующими результатами:

1. Впервые проведена верификация данных газового каротажа и данных промыслово-геофизических исследований (ПГИ) для оперативного прогноза профиля притока в горизонтальной скважине еще на этапе ее бурения, для оптимального заканчивания скважины.

2. Достоверно доказана высокая корреляция данных газового каротажа и данных ЯМК для обоснования возможности оперативного определения интервалов нахождения нефти с повышенной вязкостью в горизонтальной скважине.

3. Установлена качественная связь между данными секвенирования ДНК микробиоты шлама, газового каротажа и ГИС, и обоснована возможность использования данных секвенирования ДНК микробиоты шлама для оперативного прогноза профиля притока, и выбора интервалов для оптимального заканчивания скважины.

4. Предложена методика оперативного прогноза профиля притока по данным газового каротажа и секвенирования ДНК микробиоты шлама на этапе бурения, что выполнено впервые.

Объектом исследования являются данные геофизических исследований 466 горизонтальных скважин, пробуренных в Западной Сибири, а также связь данных газового каротажа, проводимого в процессе

бурения этих скважин, и данных анализа ДНК микробиоты из бурового шлама с типом флюидонасыщения (нефть, газ, вода) горных пород, вскрытых горизонтальными скважинами.

Фактическим материалом для исследования служит база геолого-геофизических данных, полученная при геологическом сопровождении бурения 466 горизонтальных скважин на территории Западной Сибири в 2020–2025 гг. Используются данные ГТИ и ГИС, а также результаты биоинформатического анализа ДНК микробиоты бурового шлама.

Теоретическая и практическая значимость

1. Предложенная методика позволяет выбрать способ выделения коллекторов в горизонтальных скважинах для решения конкретной задачи, а именно: оперативного прогноза профиля притока в горизонтальных скважинах для оптимальной геонавигации, последующего заканчивания скважин и выбора геолого-технологических мероприятий (ГТМ).

2. При подготовке данной работы автором была проведена масштабная работа по обобщению и актуализации требований для качественного проведения геолого-технологических исследований и газового каротажа в частности. В результате этого автор создал и внедрил стандарт по выездному аудиту станций ГТИ («Порядок проведения аудита станции геолого-технологических исследований на месторождении». Стандарт АО «ИГиРГИ». Москва 2023г.). Автор также принял участие в создании стандарта, регламентирующего проведение геолого-технологических исследований и газового каротажа для всех дочерних обществ в периметре ПАО «НК Роснефть» («Геолого-технологические исследования при сопровождении бурения скважин. Типовые требования компании «НК Роснефть»» г. Москва 2023г.).

3. Результаты научно-теоретических и практических исследований, полученные при работе над диссертацией, используются в рабочих процессах АО «Институт геологии и разработки горючих ископаемых» и в рамках курсов повышения квалификации для специалистов дочерних обществ в периметре ПАО «НК «Роснефть», а также в образовательном процессе Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ) имени Серго Орджоникидзе.

4. При подготовке данной работы автором было разработано ПО, позволяющее удаленно производить автоматическую проверку метрологических характеристик газоаналитического оборудования и автоматическую интерпретацию данных газового каротажа. На данное ПО получено два свидетельства о государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин (ЭВМ) в Роспатенте. Разработанное программное обеспечение успешно внедрено в промышленную эксплуатацию в сервисных компаниях, занимающихся геолого-технологическими исследованиями при строительстве скважин на нефть и газ.

Личный вклад автора

Автор принимал участие во всех этапах исследования: постановке задачи, организации опытно-промышленных работ (ОПР), обсуждении и подготовке публикаций по теме диссертации. Систематизировал и развил методы контроля качества газового каротажа, которые были внедрены в локально нормативную документацию (ЛНД) ПАО «НК Роснефть», регламентирующую проведение геолого-технологических исследований. Выполнял интерпретацию данных газового каротажа и ГИС, обработку данных и анализ результатов эксплуатации скважины. Осуществил разработку и внедрение результатов научных исследований на промысловых объектах.

Апробация результатов. Основные результаты исследования доложены на следующих международных, всероссийских и отраслевых научных, научно-практических и научно-технических конференциях, семинарах и форумах: Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ» (г. Москва, 2021 г.), X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые – Наукам о Земле» (г. Москва, 2022 г.), Международной конференции «Новые технологии – нефтегазовому региону» (г. Тюмень, 2022 г.), Открытом научно-техническом семинаре «Геология, геофизика, разработка месторождений углеводородного сырья» на базе кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов МГРИ (г. Москва, 2022 г.), Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ» (г. Москва, 2022 г.), Научно-практической конференции «Современные технические средства управления траекторией скважин; каротаж в процессе бурения LWD. Развитие ГТИ с внедрением цифровых технологий; Комплексирование ГТИ и LWD. Новые отечественные разработки аппаратуры и оборудования для ГИС»(г. Москва, 2023 г.), Международной научно-практической конференции «Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения Нефтегазовой Геологии и Геотехнологий» (г. Баку, 2023 г.), Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ», «Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли» (г. Москва, 2023 г), VII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы нефти и газа» (г. Москва, 2024 г.), XVII Международной конференции «Рассохинские чтения» (г. Ухта, 2025 г.), XVII международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о земле» (г. Москва, 2025 г.).

Объем и структура диссертации

Работа состоит из 182 страниц, в том числе введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (182 наименования), пяти

приложений. Текст иллюстрирован 56 рисунками и 9 таблицами, отражающими основные положения и результаты исследования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Указанная область исследований соответствует паспорту специальности 1.6.9. «Геофизика» (технические науки), а именно п. 20: интегрированный анализ многомерной, многопараметровой и разнородной информации, включающей геофизические данные; п. 21: измерительная техника, средства, технологии, системы наблюдений и сбора геофизических данных; геофизические излучающие и измерительные системы; п. 23: технические средства и технологии геофизического сопровождения проводки, геолого-технологических и ремонтных работ в скважинах; п. 25: теория, технические средства, технологии, методы сбора и интерпретации каротажной информации, межскважинного просвечивания, геолого-технологических исследований скважин, геофизических методов исследования технического состояния скважин, вскрытия пластов в скважинах.

Благодарности

Автор выражает признательность своему научному руководителю, д.т.н., заведующему кафедрой, профессору Шахвердиеву Азизаге Ханбаба оглы.

Выполнение данной диссертационной работы было бы невозможно без помощи и доброжелательного отношения коллектива АО «ИГиРГИ». Автор признателен своим коллегам: к.т.н. Котельникову Сергею Александровичу, к.г.-м.н. Хазиной Ирине Владимировне, Никифорову Сергею Александровичу, Рахимову Тимуру Ринатовичу, Черникову Евгению Юрьевичу, Демченко Игорю Анатольевичу, Индриксону Игорю Юрьевичу и генеральному директору ООО «Геоном» Поздышеву Арсению Станиславовичу.

Также автор выражает глубокую благодарность сотрудникам кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»: к.г.-м.н. Гурянову Санану Агиловичу, к.т.н. Горелкиной Евгении Ильиничне и Денисову Алексею Владимировичу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной работы, рассмотрены задачи, решаемые газовым каротажем, сформулированы цель и основные задачи исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая ценность результатов работы.

В первой главе освещены история становления и метрологическое обеспечение метода. Показано, что по мере развития газовый каротаж превратился в эффективный инструмент проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ на всей территории нашей страны и сыграл значительную роль в многочисленных открытиях нефтегазовых месторождений, являющихся основными объектами добычи углеводородного сырья и в настоящее время. В последние годы в направлении повышения достоверности данных газового каротажа были достигнуты положительные результаты. Реальные примеры из практики автора диссертации показывают, что использование данных газового каротажа снижает неопределенность в идентификации углеводородных коллекторов в условиях, где методы электрического каротажа остаются малоинформативными, и даже позволяет выявить дополнительные продуктивные пласты, ранее не определявшиеся стандартными методами ГИС.

Во второй главе освещены исследования, характеризующие микробные сообщества в нефтяных резервуарах и влияние преобладающих условий среды на их состав. Безусловными лидерами исследований в данном направлении являются научные школы США и Китая. Современные способы обработки и хранения данных позволяют сопоставлять, коррелировать и находить статистические зависимости геномных метаданных с другими параметрами скважин, пластов или месторождений, в том числе с данными геофизических и промыслово-геофизических исследований. Микробиомный анализ имеет различное применение в нефтедобывающей промышленности; в частности, этот метод активно применяется для описания сланцевых и нетрадиционных коллекторов.

В третьей главе описаны оперативные методы исследования бурового шлама. Показано, что современные методики анализа шламового материала могут стать одним из ключевых векторов развития нового направления геологоразведочных работ, так как позволяет обрабатывать результаты непосредственно в процессе бурения и получать информацию в реальном времени. При лабораторных исследованиях установлено изменение таксономического разнообразия микробиомов в зависимости от породы и типа ее флюидонасыщения. Тем самым обосновано, что для месторождений со сложным строением эффективно использование массового изучения шлама эксплуатационных скважин для выбора рациональной системы разработки, а также для прогнозирования новых объектов. Несмотря на то, что шлам не является полноценным аналогом керна, его большие объемы и доступность могут значительно увеличить массив получаемой геологической информации.

Таким образом, совершенствование методик по изучению шлама путем комплексирования исследований шламового материала с современными методами анализа ДНК его микробиоты может стать одним из новых направлений геологоразведочных работ.

В четвертой главе описан экспериментальный этап работы, в процессе которого производился анализ сходимости данных ГИС во время бурения (LWD) и данных газового каротажа, полученных при строительстве горизонтальных скважин (т.е. скважин со значительным отходом от вертикали).

С целью выявления зависимостей между данными LWD и газовым каротажем для анализа было отобрано 466 горизонтальных скважин, пробуренных в 2021–2025гг. В качестве эталона для выделения интервалов «коллектор/неколлектор» использовались данные гамма-гамма плотностного каротажа, интерпретация которого производилась как непосредственно в процессе бурения скважины, так и по завершению бурения скважины при помощи специализированных программных средств (корпоративное ПО) и экспертного опыта петрофизика-интерпретатора. Для исключения субъективности интерпретатора и, соответственно, снижения влияния человеческого фактора, интерпретация данных газового каротажа выполнялась с помощью алгоритмов автоматической интерпретации. Газовые аномалии фиксировались как по количественному признаку, так и по составу анализируемой газовой смеси, при этом применялись различные подходы по интерпретации газового каротажа в зависимости от технологии бурения.

Для обобщения собранного материала и получения научно обоснованных выводов был проведен статистический анализ в среде программирования Python. Основными целями статистического анализа являлись:

1. оценка качества данных;
2. определение статистических показателей, их динамики и связи с факторами.

На рисунке 2 представлены результаты проверки нормального распределения данных с помощью графика квантиль-квантиль (Q-Q плот), который используется для проверки того, насколько данные соответствуют нормальному распределению. Точки на графике представляют собой наблюдаемые значения данных, которые сопоставляются с теоретическими квантилями нормального распределения. Большинство точек лежит близко к диагональной красной линии, что указывает на нормальность данных. В целом график подтверждает, что данные имеют нормальное распределение с незначительными отклонениями в крайних значениях.

Были также проанализированы средние значения и оценена схожесть с нормальным распределением. На рисунке 3 показана гистограмма распределения данных с наложенной красной кривой нормального распределения. Большинство значений сосредоточено в диапазоне от 0.80 до 0.90, с пиком около 0.85. Красная кривая, представляющая нормальное распределение (гауссово распределение), хорошо соответствует форме

гистограммы, что указывает на близкое к нормальному распределению данных.

Также нормальность распределения подтверждается и статистическим критерием Шапиро-Уилка:

- статистика теста: 0.957;
- p-значение: 0.298;
- нулевая гипотеза не отвергается: данные распределены нормально.

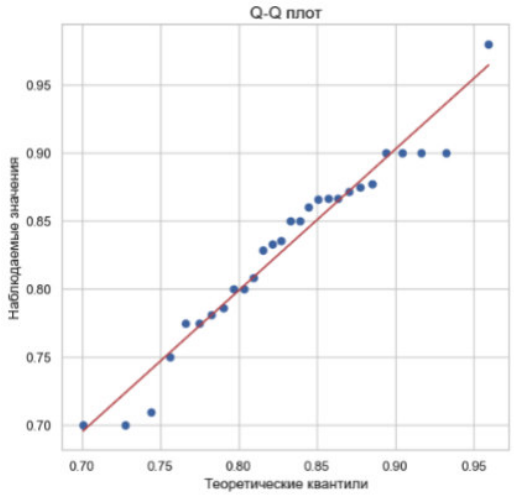


Рисунок 2 –Q-Q плот по результату проверки на нормальное распределение

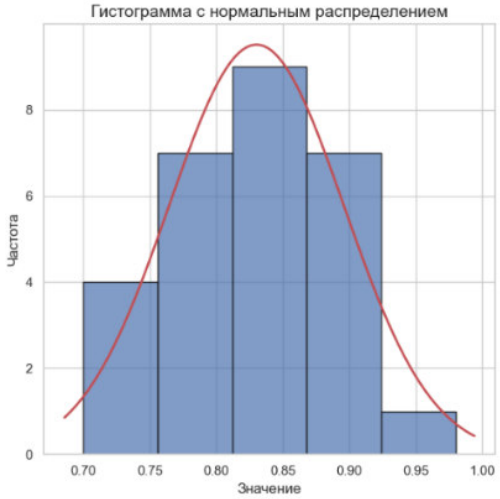


Рисунок 3 –Гистограмма распределения данных

На рисунке 4 представлены результаты сравнения данных ГИС и газового каротажа при бурении горизонтальных скважин, где среднее значение коэффициента корреляции Пирсона составило 0,83 (83%), что трактуется как признак сильной связи между наборами данных.

Для выявления зависимостей между результатами определения профиля притока и газовым каротажем выбирались горизонтальные скважины с вариантом крепления горизонтального участка фильтром-хвостовиком. Для анализа были отобраны горизонтальные скважины в Западной Сибири, пробуренные в газонасыщенном коллекторе терригенного типа. Геологический разрез месторождения представлен следующими литологическими разностями: пласты-коллекторы сложены песчаниками и алевролитами, неколлекторы представлены аргиллитами и глинами. Коллектор имеет высокую литологическую неоднородность по латерали, связанную с участками заглинизированности и карбонатизацией, что влечет за собой ухудшение ФЕС коллектора в пределах продуктивного пласта и, как следствие, неравномерный профиль притока в горизонтальном участке скважины. Данный фактор позволил оценить наличие зависимости между данными газового каротажа и профилем притока. Согласно результатам исследования, в интервалах с относительно высокими ФЕС коллектора

фиксируется высокий фон газопоказаний, а в интервалах с относительно низкими ФЕС коллектора фиксируется низкий фон газопоказаний.

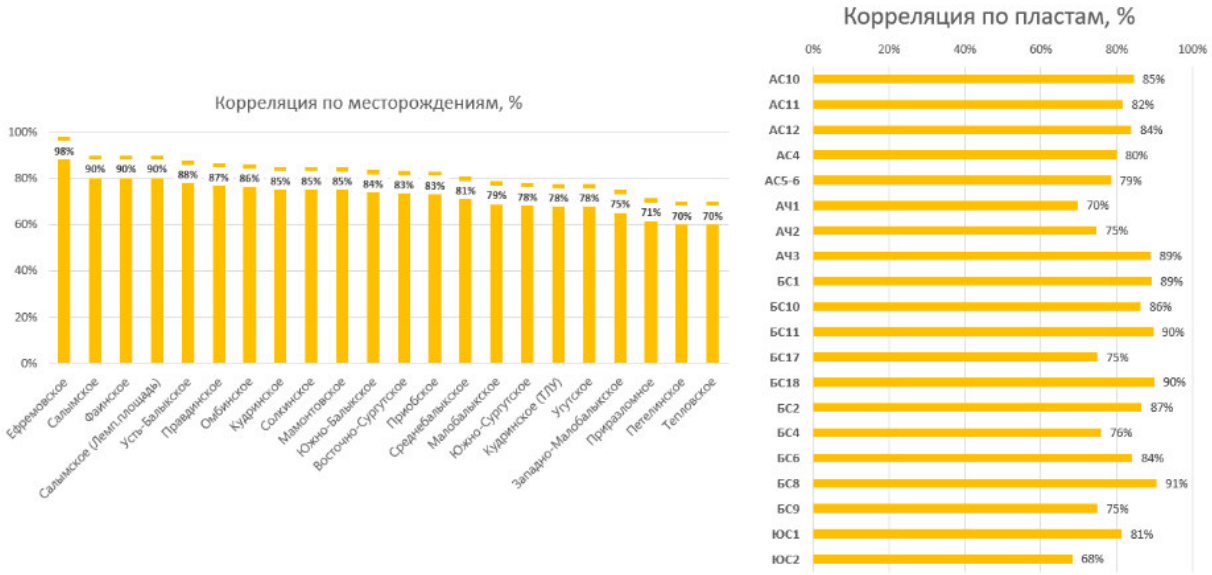


Рисунок 4 –Корреляция данных ГИС и газового каротажа

Скважина № 847 построена с горизонтальным окончанием, длина горизонтального участка составляет более 400 м. Профиль притока построен по комплексу методов (ТМ, СТИ, РГД, ШМ).

На рисунке 5 представлен планшет интерпретации данных газового каротажа, зарегистрированных в процессе бурения горизонтальной скважины № 847, и профиля притока, определенного в процессе ее последующей эксплуатации, где сверху вниз показаны:

Блок 1 – результат автоматического расчета данных газового каротажа на основе данных содержания компонентов углеводородного (УВ) газа и скорости проходки.

Блок 2 – концентрация суммы УВ газа (первичные данные).

Блок 3 – прогноз профиля притока по данным газового каротажа (интерпретация).

Блок 4 – данные профиля притока в % (интерпретация) и глубина по стволу (первичные данные).

На планшете наглядно показано, что интервал 2 902–3 298 м (по данным профиля притока вносящий основной вклад в дебит скважины - 96,5% от всего притока) четко коррелирует с данными газового каротажа и определяется по нему как газонасыщенный в связи с тем, что тяжелые УВ практически отсутствуют в анализируемой смеси. Далее интервал 3 298–3 455 м, характеризующийся по профилю притока как слабо работающий газом (3,5 % от всего притока), также коррелируется с газовым каротажем в

виде падения фоновых газопоказаний. Общая корреляция газового каротажа с профилем притока на данной скважине составила 99%.

На рисунке 6 представлен планшет интерпретации данных газового каротажа, зарегистрированных в процессе бурения горизонтальной скважины № 849, и профиля притока, определенного в процессе ее последующей эксплуатации. На планшете наглядно показано, что интервал 2 061–2 377м (выделен желтой заливкой) вносящий основной вклад в дебит скважины (91,2% от всего притока), четко коррелируется с данными газового каротажа и определяется по нему как газонасыщенный. Далее интервал 2 377–2 787м по стволу, характеризующийся по профилю притока как слабо работающий газом (8,8% от всего притока), также коррелируется с газовым каротажем в виде падения фоновых газопоказаний. Общая корреляция газового каротажа с профилем притока на данной скважине составила 98 %.

Для выявления зависимостей между данными газового каротажа, результатами определения профиля притока и секвенирования ДНК микробиоты шлама выбиралась горизонтальная скважина с вариантом крепления горизонтального участка фильтром-хвостовиком.

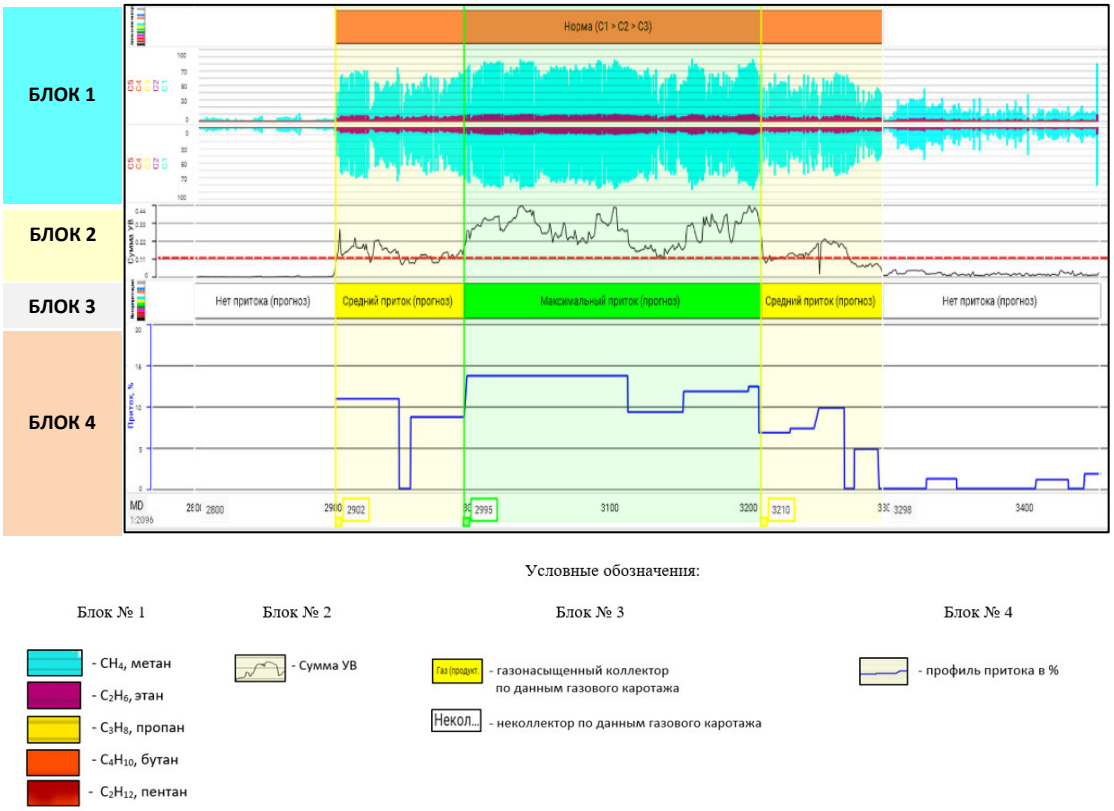


Рисунок 5 –Планшет интерпретации данных газового каротажа и определения профиля притока скважины № 847

Опытно-промышленные работы производились при бурении добывающей горизонтальной скважины № 5 043. Скважина пробурена на месторождении в Западной Сибири. Рассматриваемое месторождение является нефтяным, залежь располагается в отложениях терригенного типа.

При бурении, кроме стандартного комплекса ГИС, производился отбор проб шлама для последующего биоинформатического анализа.

Интервал отбора равнялся 5 метрам, а общее количество отобранных в процессе бурения скважины образцов выбуренной породы (бурового шлама) составило 179 шт. Траектория скважины проходила через различные породы (аргиллит-неколлектор, песчаник-коллектор), оперативное определение литологии в процессе бурения производилось по данным гамма-каротажа (рис. 7).

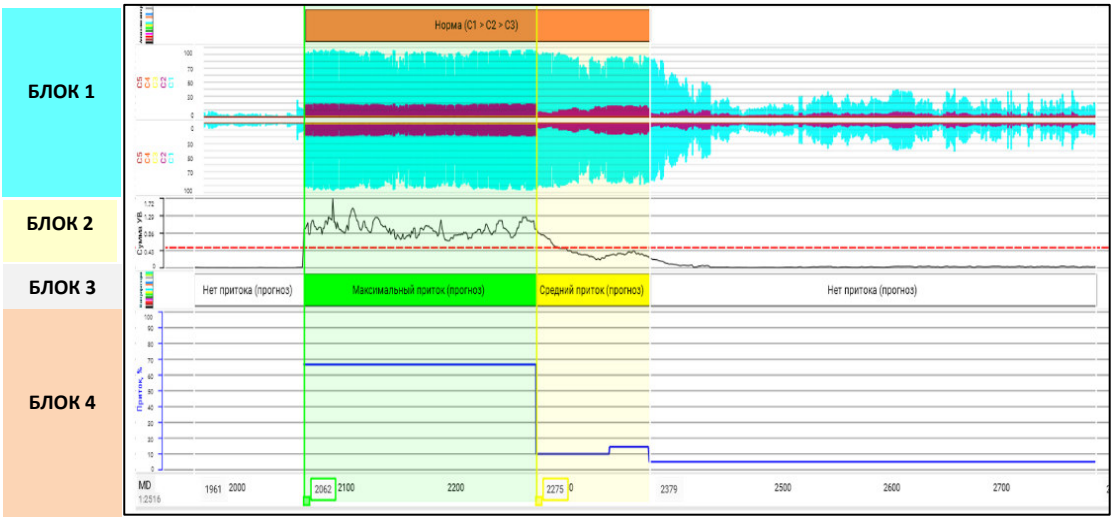


Рисунок 6 –Планшет интерпретации данных газового каротажа и определения профиля притока скважины № 849 (условные обозначения идентичны рис. 5)

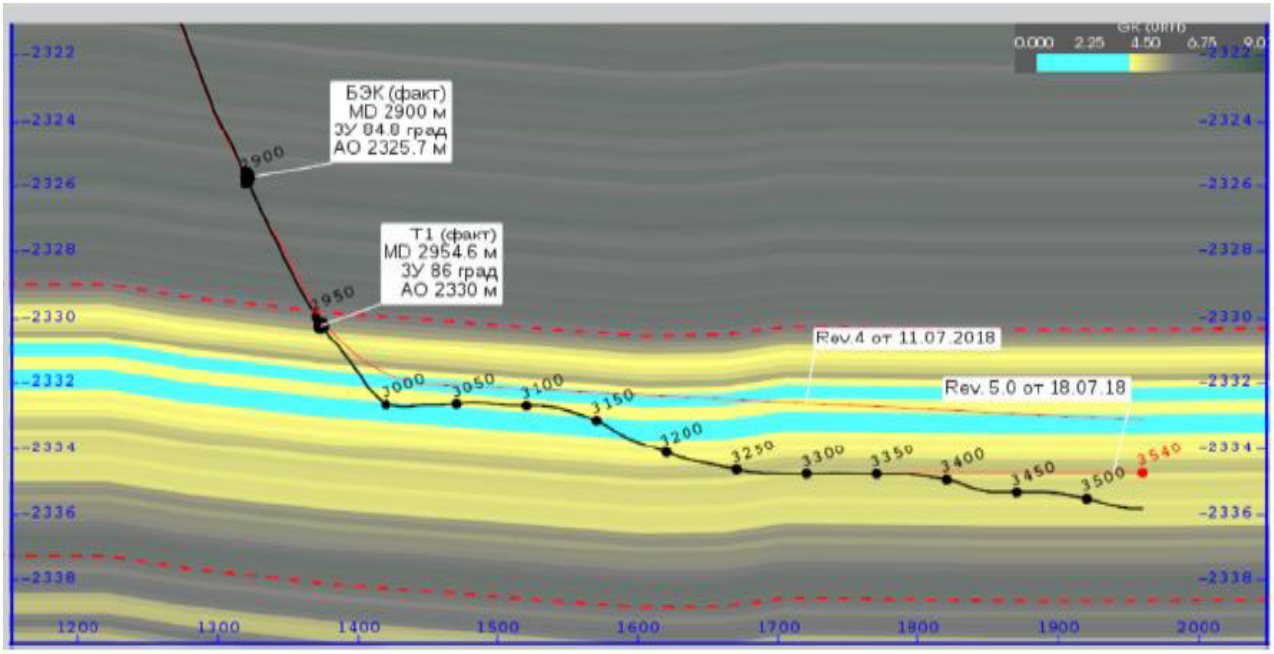


Рисунок 7 –Траектория скважины № 5 043, где разными цветами обозначены соответствующие литологические разности (темно-зеленый – аргиллит, желтый – песчаник, синий – плотный песчаник). По вертикальной оси отражена глубина залегания скважины, по горизонтальной оси – длина. Все измерения даны в метрах

Сопоставление результатов микробиомного исследования с результатами геофизических исследований и газового каротажа представлены на рисунке 8, где сверху вниз показаны:

Блок 1 – результат автоматической интерпретации данных газового каротажа на основе информации о содержании компонентов УВ-газа и процентное содержание пород в шламе с концентрацией суммы УВ-газа;

Блок 2 – данные LWD, полученные в процессе бурения;

Блок 3–данные секвенирования ДНК микробиоты шлама;

Блок 4 –данные профиля притока и глубина по стволу.

На планшете (рис. 8) наглядно показано, что по газовому каротажу выделено два нефтенасыщенных интервала: 2 937–3 038 м и 3 270–3 541 м (выделены красной заливкой), причем основным по уровню газопоказаний и увеличению концентрации тяжелых компонентов является второй из них (3 270–3 541 м). В данном интервале по результатам секвенирования ДНК микробиоты шлама наблюдается резкий рост разнообразия микроорганизмов. Согласно зарубежным исследованиям, по микробиологическому разнообразию можно косвенно судить о коллекторских свойствах пласта, поскольку улучшение ФЕС влечет за собой увеличение разнообразия микробиоты.

Также по результатам анализа профиля притока в данной скважине установлено, что основной вклад в дебит вносит интервал 3 270–3 540 м (выделено зеленой заливкой на третьем треке снизу). Результаты определения профиля притока по интервалам представлены в таблице № 1.

Таблица 1 –*Информация о работающих интервалах и интенсивности притока в скважине №5 043*

Кровля, м	**Подошва, м**	**Состав притока**	**Нефть**		**Вода**	
			%	**м^3/сут**	**%**	**м^3/сут**
2950	3070	нефть	23,1	83,2	-	-
3070	3270	нефть	13,1	47,2	-	-
3270	3540	нефть	63,8	229,7	-	-
Итого			100	360,1		

Таким образом, на практике подтверждена сходимость данных газового каротажа не только с данными профиля притока, но и с результатами секвенирования ДНК микробиоты шлама. Это дает дополнительную информацию для определения оптимальных путей освоения залежей нефти и газа. Тем самым доказана работоспособность методики оперативного прогноза профиля притока в горизонтальных скважинах по данным газового каротажа и результатам секвенирования ДНК микробиоты бурового шлама.

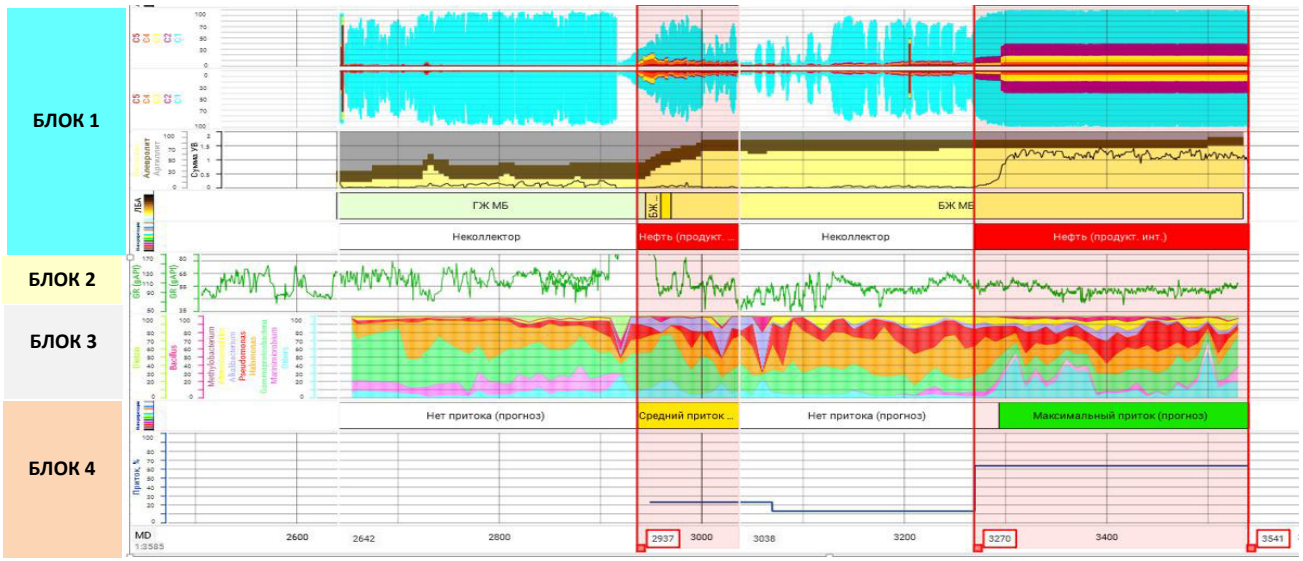


Рисунок 8 –Планшет интерпретации данных газового каротажа и определения профиля притока

Условные обозначения:



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основным результатом исследования является новая методика оперативного прогноза профиля притока в горизонтальных скважинах при бурении путем комплексирования данных газового каротажа и секвенирования ДНК микробиоты шлама. Методика внедрена и используется в производственных процессах предприятий-подрядчиков по ГТИ, что, согласно методике оценки уровня готовности технологии (УГТ) также известной как Technology Readiness Level (TRL) соответствует высшему, 9-му уровню по шкале оценки зрелости новых технологий.

2. В процессе работы впервые проведена верификация данных газового каротажа и данных ГИС на 466 скважинах различных месторождений. Фактическим материалом для исследования и экспериментального этапа работы служила база геолого-геофизических данных, полученная при геологическом сопровождении бурения указанного фонда горизонтальных скважин на территории Западной Сибири в период с 2020 по 2025 гг.

3.Автором были предложены новые методы повышения качества газового каротажа путем внедрения газоанализаторов на основе наносенсоров. Предложенная инновация удостоена первого места на

всероссийском конкурсе «Новая идея – 2020» как лучшая научно-техническая разработка среди молодежи организаций топливно-энергетического комплекса.

4. Автором разработаны и зарегистрированы программные комплексы для цифровизации процессов проверки метрологических характеристик газоаналитического оборудования и интерпретации данных газового каротажа.

Основные направления дальнейшей работы диссертанта:

1) дальнейшее развитие методов автоматической проверки качества и интерпретации данных газового каротажа на основе нейронных сетей;

2) продолжение совершенствования подходов к комплексированию данных газового каротажа, ГИС и данных секвенирования ДНК микробиоты бурового шлама, в том числе для месторождений с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ) нефти;

3) разработка алгоритмов оперативного прогнозирования, ВНК, ГНК и ФЕС в процессе бурения по данным газового каротажа на основе нейронных сетей.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные научные положения и результаты диссертационной работы освещены в 16 научных работах. Из них 12 статей опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Министерства науки и высшего образования РФ; а также изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах Scopus. Также получено два свидетельства на регистрацию программного обеспечения:

Публикации в ведущих изданиях согласно перечню ВАК и Scopus

1.**Ильязов Р.Р.,** Шахвердиев А.Х. Прогноз профиля притока в горизонтальной скважине по данным газового каротажа // Нефтепромысловое дело. – 2026. – № 6(690). – С. 30–38.(ВАК, $К_1$).

2.**Ильязов Р.Р.** От экспертной оценки к интеллектуальным системам: автоматизация верификации и интерпретации данных ГТИ // Вестник РАЕН. – 2026. – Т. 26, № 1. – С. 85-91. – DOI 10.52531/1682-1696-2026-26-1-85-91. (ВАК, $К_3$).

3.**Ильязов Р.Р.** Повышение информативности комплекса ГИС с помощью данных газового каротажа, для оперативной геонавигации при бурении горизонтальных скважин на нефть и газ // Вестник РАЕН – 2024.-№1 С. 12-23 DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-1-12-23 (ВАК, $К_3$).

4.**Ильязов Р.Р.** Информативность газового каротажа в современных условиях бурения // Бурение и нефть. – 2025. – № 5. – С. 47-51, DOI: 10.62994/2072-4799.2025.81.54.009 (ВАК, $К_1$).

5. **Ильязов Р.Р.** Потенциал развития газового каротажа при бурении скважин // Нефтепромысловое дело. – 2025. – № 8(680). – С. 11–16. (ВАК, К1).

6. **Ильязов Р.Р.** Современные возможности газового каротажа при бурении скважин и необходимость его комплексного метрологического обеспечения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 8 (368). – С. 11 – 18, DOI: 10.33285/0130-3872-2023-8(368)-11-18 (ВАК, $К_1$).

7.**Ильязов Р.Р.** Комплексирование методов геолого-технологических исследований и технологии секвенирования ДНК микробиоты при бурении и эксплуатации нефтегазовых скважин // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 11. – С. 118 – 122, DOI: 10.24887/0028-2448-2023-11-118-122 (Q_3, $К_1$).

8. **Ильязов Р.Р.** Использование данных газового каротажа ГТИ для решения нестандартных задач при строительстве скважин на нефть и газ // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 9(381). – С. 39–44 (ВАК, $К_1$).

9. **Ильязов Р.Р.,** Никифоров С.А, Черников Е.Ю., Рахимов Т.Р. Применение газового каротажа для геонавигации и оперативного определения межфлюидных контактов при проводке горизонтальных скважин // Нефтяное Хозяйство. – 2023. – № 2.– С. 72 – 77.DOI: 10.24887/0028-2448-2023-2-72-77(Q_3, $К_1$).

10.**Ильязов Р.Р.** Перспективы применения прибора типа «Электронный нос» в газовом каротаже, при бурении скважин на нефть и газ // Бурение и нефть. – 2021. – № 5. – С. 37 (ВАК, $К_1$).

Публикации в ведущих зарубежных изданиях

11. Shakhverdiev A.Kh., **Ilyazov R.R.** Combining gas logging, well logging and cuttings microbiota data to improve geosteering and flow profile prediction in a horizontal well //SOCAR Proceedings. – 2024. – № S1. – P. 7 – 14. DOI: 10.5510/OGP2024SI101034 (Q_2, $К_1$).

12. **Ilyazov R.R.,** Shakhverdiev A.Kh. Real-time determination of fluid contacts during horizontal well drilling using mud gas logging //SOCAR Proceedings. – 2026. – № 2. – P. 46-53. http://dx.doi.org/10.5510/OGP20260201194 (Q_3, $К_1$).

Основные публикации тезисов научных конференций

13. **Ильязов Р.Р.** Комплексирование методов ГТИ и технологии секвенирования ДНК, при бурении скважин на нефть и газ // Сборник трудов по материалам научно-практической конференции, посвященной 100-летнему юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения Нефтегазовой Геологии и Геотехнологий. – Баку, 2023. – С. 988 – 995.

14. **Ильязов Р.Р.,** Никифоров М.В. Инновационные методы в геолого-геохимических методах ГТИ // Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли. Сборник трудов по материалам научно-практической конференции: XV научно-практической конференции, XXII научно-практической конференции и 51-й научно-практической конференции. – Москва, 2024. – С. 32 – 42.

15. **Ильязов Р.Р.,** Никифоров М.В. Верификация данных газового каротажа на данных ГИС в процессе бурения // Сборник трудов по материалам молодежной научной конференции: VII Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы нефти и газа». – Москва, 2024. – С. 253 – 256.

16. **Ильязов Р.Р.** Информативность газового каротажа в современных условиях бурения // Сборник трудов по материалам научной конференции: XVII Международная конференция «Рассохинские чтения». – Ухта, 2025. – С. 442 – 445.

Свидетельства о государственной регистрации ПО по результатам работ

17. **Ильязов Р.Р.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685243 от 25 октября 2024 г. «Программное обеспечение для проверки метрологических характеристик газоаналитического комплекса станции геолого-технологических исследований» / https://fips.ru/EGD/27ba2dd6-0d52-491e-a180-596c878036d3

18. **Ильязов Р.Р.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024688163 от 25 ноября 2024 г. «Программное обеспечение для автоматической интерпретации газового каротажа по флюидным коэффициентам» / https://fips.ru/EGD/aae3cb7e-6684-4b78-9e05-8ad78902073c

Подписано в печать 20.10.2026 г.
Заказ № 21904. Тираж 100 экз.
Бумага офсетная. Формат 60x90/16.
Типография «Автореферат.ру»
ОГРНИП 320774600073831
119313, Москва, ул. Марии Ульяновой, д.3, к.1
+7 (977) 518-13-77, +7 (499) 788-78-56
www.avtoreferat.ru, e-mail: riso@mail.ru