

Подходы к интерпретации сейсмических данных 3D при изучении доюрского комплекса Западной Сибири (Фроловская мегавпадина)

А.И. Хисамутдинова*, А.С. Гриневский, Д.Е. Мирошниченко, А.Ф. Романчук, А.А. Баранцев, Р.Ю. Бояркин, Т.Н. Кирьянова, А.А. Бакулин
Московский офис ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия

Доюрский комплекс (ДЮК) Фроловской мегавпадины Западной Сибири – перспективное направление наращивания ресурсной базы: на балансе числятся 68 месторождений с геологическими запасами около 965,5 млн т условного топлива. В работе обобщён опыт интерпретации данных широкоазимутальной сейсморазведки 3D для изучения строения и нефтегазоносности комплекса на площади, охарактеризованной 10 съёмками (более 2800 км²), 90 поисково-разведочными и свыше 500 эксплуатационными скважинами. Показано, что достоверная структурная модель ДЮК достигается за счёт полноазимутальной глубинной анизотропной миграции, улучшающей фокусировку наклонных отражений и подавление кратных волн в условиях эрозионного рельефа и коры выветривания. Для областей развития кислых вулканитов позднепермь–раннетриасового возраста установлена связь литологического состава (туфы, риодациты, метариодациты) с упругими свойствами: наиболее перспективные коллекторы – поровые туфы с пониженным акустическим импедансом, прослеживаемые по данным синхронной сейсмической инверсии; коллекторы сложного типа по упругим свойствам разделяются неуверенно. За пределами вулканитов предложен вероятностный прогноз вещественного состава прикровельной части ДЮК методом Гауссова дискриминантного анализа по картам продольного импеданса и отношения V_p/V_s , опирающийся на базу измерений упругих свойств керна (более 360 образцов, 10 петрокласов). Комплексирование сейсморазведки, петрофизики и вероятностного моделирования снижает геологические риски бурения и повышает эффективность геологоразведочных работ.

Ключевые слова: Западная Сибирь, Фроловская мегавпадина, доюрский комплекс, триас, палеозой, сейсморазведка 3D

Для цитирования: Хисамутдинова А.И., Гриневский А.С., Мирошниченко Д.Е., Романчук А.Ф., Баранцев А.А., Бояркин Р.Ю., Кирьянова Т.Н., Бакулин А.А. (2026). Подходы к интерпретации сейсмических данных 3D при изучении доюрского комплекса Западной Сибири (Фроловская мегавпадина). *Георесурсы*, 28(3), с. 28–45. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.3.8>

Введение

Интерес к залежам углеводородов, связанным с резервуарами доюрского основания Западно-Сибирской плиты, возник сразу же после открытия промышленных залежей газа и нефти в 60-х гг. прошлого столетия в Березовском и Шаимском районах, где уже первыми скважинами была установлена продуктивность верхней части палеозойских отложений. На данный момент триасовые и палеозойские разрезы доюрского комплекса (ДЮК) в Западной Сибири вскрыты более чем пятью тысячами скважин.

Доюрский комплекс Западной Сибири представляет собой сложнопостроенный ансамбль разновозрастных террейнов. Историю развития и особенности структурных взаимоотношений блоков фундамента молодой Западно-Сибирской плиты сложно описать ёмко и непротиворечиво. Наиболее масштабной региональной работой по обобщению накопленного материала изучения ДЮК явился отчёт по (Медведева, Цимбалюк, 2016). Скважинная информация (каротажные данные, описание керна), карты геофизических полей и, наконец, геологическая и литолого-фациальная карты доюрского основания Западно-Сибирской плиты позволили в настоящее время подойти к его изучению детально.

По данным на 2025 год в доюрском комплексе Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (НГБ) находятся на балансе 68 месторождений с геологическими запасами 965,5 млн тонн условного топлива.

* Ответственный автор: Айсылу Ильдаровна Хисамутдинова
e-mail: Aysylu.Khisamutdinova@lukoil.com

© 2026 Коллектив авторов

Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

За почти 50 лет изучения и разработки комплекса наметилась корреляция между составом и продуктивностью комплекса. Ловушками могут выступать карбонатные блоки доюрского фундамента (например, Ханты-Мансийское, Арчинское месторождения и др.), кора выветривания по различным типам коренных пород (например, Восточно-Каменное, Даниловское, Северо-Варьганское месторождения). Отдельным и уникальным высокоперспективным объектом являются вулканогенные породы пермь-триасового возраста преимущественно кислого состава. Их разработка ведётся на Рогожниковском и Средне-Назымском месторождениях. Максимальные дебиты (свыше 180 т/сут) получены из прослоев кластолавы и туфов.

Цель исследования состояла в разработке и обосновании комплексной методологии интерпретации широкоазимутальных сейсмических данных 3D для построения достоверной структурной модели и прогнозирования коллекторских свойств доюрского комплекса в центральной части Фроловской мегавпадины Западной Сибири. Это снижает геологические риски при бурении и повышает эффективность геологоразведочных работ. Комплексный анализ скважинных данных и широкоазимутальной сейсморазведки позволяет охарактеризовать геологическое строение и нефтегазоносный потенциал доюрского комплекса.

Геологическое положение изучаемой площади

Описываемый район, согласно (Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания..., 2004), на схеме фациального районирования триасовых отложений Западной Сибири относится к Ляпинско-Шеркалинскому району. Он вскрыт 90 поисково-разведочными скважинами и более чем 500 эксплуатационными скважинами. В интерпретации участвовали данные по 10 современным сейсмическим съёмкам 3D площадью более 2800 км².

На карте аномалий магнитного поля, полученной по результатам интерпретации данных высокоточных аэросъёмки масштаба 1: 50 000, проводившихся в 1970–1990 годах, описываемый район располагается на границе трёх зон. На юге и на севере располагаются обширные зоны с отрицательными значениями аномального магнитного поля ΔT_a (100–200 нТл), в центральной части – протяжённый линейный элемент с положительными значениями магнитного поля. Линейные элементы с положительными значениями аномалий в целом для Широкого Приобья интерпретируются как области развития триасового рифтогенеза (Ступакова и др., 2015; Харахинов, 2019; Шадрин, 2009, 2018; Хромова и др., 2015; Latyshev et al., 2025; и др.) (рис. 1).

Доюрский комплекс делится по возрасту на два типа разреза: средне-позднепалеозойский и позднепермь–ранне-среднетриасовый (рис. 2).

Средне-позднепалеозойский тип в контуре исследуемой территории сложен карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями, редко встречаются отдельные прослои вулканических пород преимущественно основного (базальты), реже среднего (андезиты) состава, метаморфические породы зеленосланцевой фации метаморфизма.

Карбонатный тип разреза представлен биоморфно-детритовыми и пелитоморфными известняками, местами метаморфизованными до мраморов. Терригенные породы представлены песчаниками и алевролитами вторично изменёнными (Хисамутдинова и др., 2024).

Метаморфогенный тип разреза в средне-палеозойских блоках представлен сланцами светло-серого, светло-зелёного, тёмно-зелёного, чёрного цветов, метаморфизованными, кремнистого или глинистого состава, крепкими, плотными, трещиноватыми, с перемятым метаморфизованным углефицированным детритом, с прожилками кварцита.

По мнению большинства исследователей, терригенно-карбонатные отложения приурочены к блокам континентальной сиалической коры (плитам и микроплитам), а вулканогенные отложения – к островодужным системам. Все отложения палеозоя подвергнуты складчатости в позднекаменноугольно-раннепермское время с отдельными фазами внедрений гранитных интрузий (Конторович и др., 2024).

Центральная часть исследуемого участка попадает в зону развития формации кислых вулканитов, относимых к туринской серии раннего триаса. Это поле имеет юго-восток-северо-западное простирание, продолжаясь на северо-западе на Рогожниковскую группу месторождений (рис. 2).

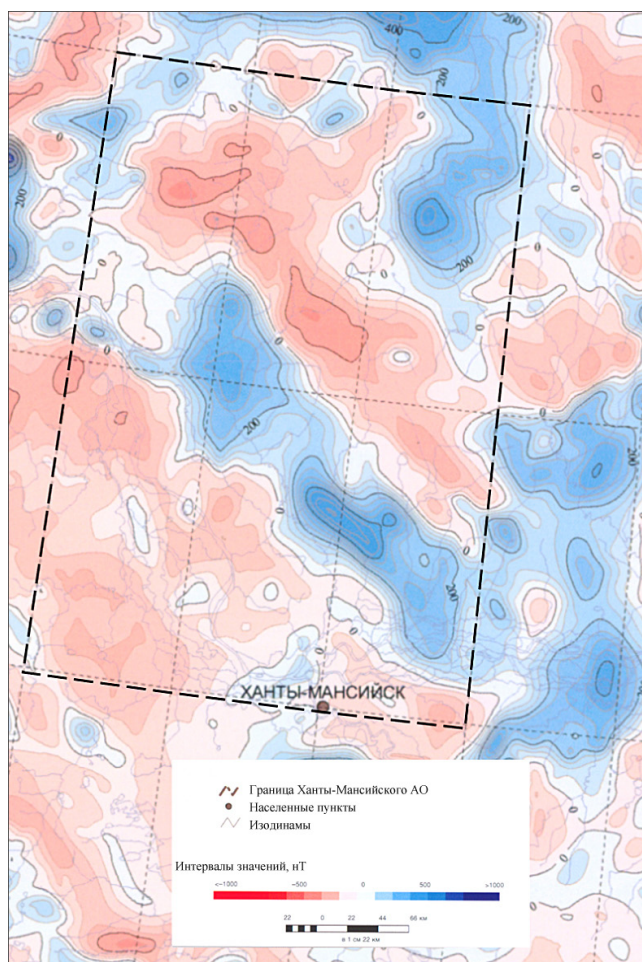


Рис. 1. Положение изучаемого участка недр на карте изодинам приращения полного вектора магнитного поля (Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа..., 2004)

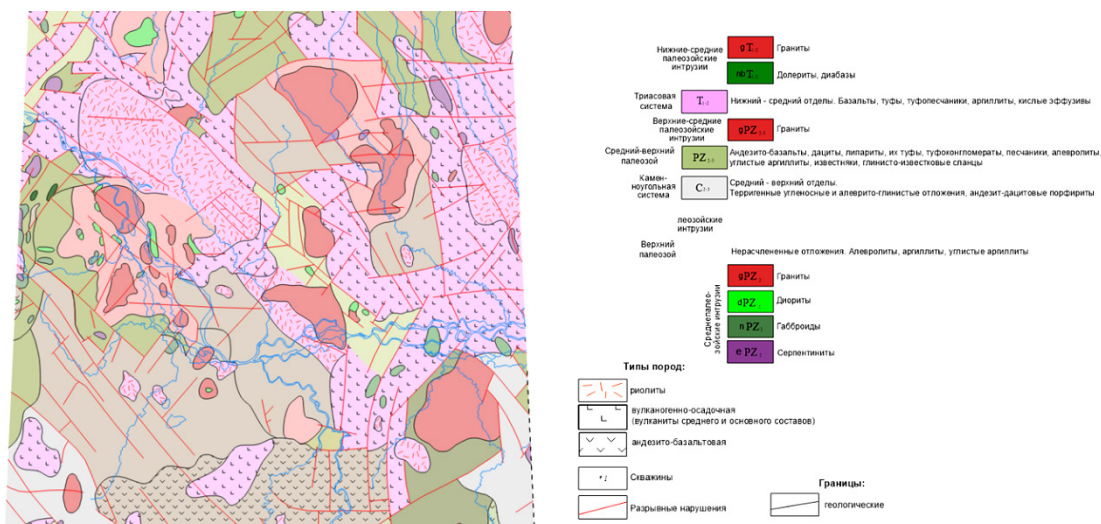


Рис. 2. Фрагмент геологической карты дююрского основания (Медведева, Цимбалюк 2016 г.)

Позднепермь-раннетриасовый тип разреза дююрского комплекса представлен преимущественно эффузивами кислого состава: лавами риодацитов, риолитов, дацитов, их туфовыми разностями, туфо- и лавобрекчиями, игнимбритами. Породы лавовых потоков массивные, реже деформированные, деформации разноориентированы. Эффузивные разности часто обладают перлитовыми текстурами. Несколькими скважинами в ареалах преобладания вулканитов кислой формации вскрыты локальные линзы базальтов мощностью ~ 5–10 м. Стратиграфическая приуроченность линз остаётся дискуссионной (Коровина и др., 2009; Добрыдень и др., 2024; Смирнова и др., 2024; Алексеев и др., 2025).

Детальное описание петротипов приведено в работах (Смирнова и др., 2024)

Согласно (Смирнова и др., 2024) основными петротипами кислой формации триасовых вулканитов, вскрытых на описываемой территории, являются:

- Риодацитовые лавы (массивные и флюидальные). Породы обладают порфировой структурой с вкрапленниками плагиоклаза, калиевого полевого шпата и кварца, а основная масса состоит из гранобластового агрегата кварца и глинистого материала. Характеризуются высокой плотностью ($>2,4 \text{ г/см}^3$) и высокими значениями сопротивления на каротаже. Преимущественно неколлектор;

- Риодацитовые лавы (коры выветривания). Первичная структура затусована интенсивными вторичными изменениями, при которых вкрапленники замещены каолинитом, гидрослюдами и хлоритом, а трещины заполнены кварцем и карбонатом. Формируется вторичная брекчиевидная текстура, а на каротаже наблюдается снижение плотности, нейтронного каротажа и сопротивления. Возможный коллектор;

- Риодацитовые лавы с перлитовой текстурой с концентрическими трещинами внутри округлых сфер, где пустотное пространство сосредоточено во внутренних частях перлитов. Основная масса сложена кварцем и буровато-зелеными глинистыми минералами. На каротаже эти породы характеризуются повышенным акустическим каротажем и сниженной плотностью. Коллектор;

- Риодацитовые туфы лапиллиево-пепловые. Состоят преимущественно из витрокластов (до 80%),

кристаллокластов и слабо раскристаллизованной стекловатой или глинисто-кварцевой основной массы с высокой пористостью. Это самые низкоплотные породы с самыми низкими значениями сопротивления и нейтронного каротажа, но высокими показателями проводимости. Коллектор;

- Риодацитовые туфы с обломками перлитовых лав. Обломочная часть включает до 80% литокластов перлитовых риодацитов, а основная масса неравномерно перекристаллизована, окварцована и замещена глинистыми минералами. На каротаже занимают промежуточное положение между пепловыми туфами и перлитовыми лавами, отличаясь структурной неоднородностью сопротивлений. Коллектор;

- Андезидацитовые лавы. Имеют порфировую структуру с корродированными вкрапленниками полевого шпата, интенсивно пелитизированными и замещенными вторичными минералами (хлорит, кальцит, сидерит). Отличаются высокой объемной плотностью и выдержанными низкими значениями радиоактивности и сопротивления, сопоставимыми с терригенными породами. Преимущественно неколлектор.

Породы дююрского основания, как правило, изменены процессами вторичных преобразований, по ним активно развивается кора выветривания.

Кора выветривания является континентальной формацией, образованной в результате изменения исходных горных пород под воздействием атмосферных и биогенных агентов. Её состав зависит от исходных пород палеозоя (преимущественно мергели, известняки, долериты, а также терригенные отложения – песчаники, конгломераты, глины) или мезозоя (преимущественно магматические и вулканические породы основного, реже – кислого состава). Кора выветривания имеет зональное строение и делится снизу вверх на зоны дезинтеграции, выщелачивания и гидролиза. Выделяются два геоморфологических типа кор выветривания: площадные и линейно-трещинные, обусловленные наличием разломов в прикровельной части дююрского комплекса. Возраст коры выветривания связан с возрастом субстрата, на котором она формируется и часто принимается условно в достаточно широком диапазоне. Детальное изучение коры выветривания

как продуктивного интервала приведено в работах (Губин, Канакова, 2013; Краснощекова и др., 2024; Лебедев и др., 2014; Конторович и др., 2024; и др.).

В пределах изучаемой территории отложения коры выветривания вскрыты спорадически и в большинстве случаев без отбора керна. В редких скважинах с отбором керна породы коры выветривания по кислым вулканитам представлены конглобрекцией, состоящей из светло-серого, почти белого выветрелого кислого эффузива (риодацит) и буровато-серой цементирующей массы с кусочками обугленной древесины (структурный эллювий кислых эффузивов). Мощность коры выветривания на описываемой площади составляет от 0 до ~10 м.

Обоснование возраста позднепермь–раннетриасового типа разреза

Возраст комплекса обоснован U-Pb датировками циркона по пробам из шести скважин 2012–2016 гг., вскрывших вулканогенный комплекс на сотни метров.

Во Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А.П. Карпинского в Центре изотопных исследований было проведено датирование монофракций цирконов из проб пород доюрского комплекса из 6 равноудалённых друг от друга скважин. Для определения абсолютного возраста вулканитов была применена методика SIMS (Точечные изотопно-геохимические измерения, определения изотопных отношений и массовых долей урана, тория и свинца методом масс-спектрометрии), исследование проводилось на вторично-ионном масс-спектрометре SHRIMP-II.

Цирконы из всех проб представляют собой гомогенные популяции с морфологическими особенностями, типичными для зёрен эффузивов кислого состава. Они относятся к единой геологической серии и представляют собой, по-видимому, практически непрерывную последовательность становления отдельных горизонтов (потоков, эксплозий). Геохимия цирконов, отражающая характеристики среды минералообразования, также однородна. Значимых вторичных изменений и унаследованных ядер нет. Отмечается (как и в цирконах из вулканических туфов) повышенное содержание нерадиогенного свинца, при обычном для кислых магматических пород Th/U отношений 0,3–0,6, большое количество газовой-жидких включений.

Согласно результатам исследований, возрастной диапазон отобранных образцов керна составляет $238 \pm 2,6$ – $248,4 \pm 2,5$ млн лет, что геохронологически соответствует рубежу раннего и среднего триаса оленёкским и анизийским векам.

Возраст комплекса по керну скважин 2020–2023 гг. бурения приведён в (Latyshev et al., 2025), по обновлённым данным U-Pb возраст изменяется в диапазоне от 253,69 до 248,21 млн лет, что соответствует позднепермскому–раннетриасовому времени.

Подходы к сейсмической интерпретации комплекса Качество сейсмических данных

Качество сейсмических данных имеет принципиальное значение для исследования доюрского комплекса, при этом важен не только исходный полевой материал,

но и граф обработки, а также ее интерпретационное сопровождение. Наиболее достоверный геологический результат достигается на данных широкоазимутальных съёмках, обработанных с применением глубинной миграции с сохранением относительных амплитуд (Гриневский и др., 2021). Важна совокупность характеристик: равномерность распределения удалений и азимутов, отношение сигнал/шум, ширина частотного диапазона и равномерность освещённости целевого интервала. Приведённые ниже параметры съёмки представляют собой пример системы наблюдений, апробированной для данных условий: кратность 144, коэффициент азимутальности – 0,96, шаг между ПВ и ПП – 50 м, расстояние между ЛП и ЛВ – 300 м, взрывной тип источника. Такое сочетание плотной пространственной дискретизации, высокой кратности и значительной апертуры наблюдений обеспечивает широкий диапазон направлений и углов освещения глубинных объектов, что особенно важно для сложнопостроенного доюрского комплекса с разноориентированными разломами, крутонаклонными границами и выраженной латеральной неоднородностью. Размер бина 25×25 м и шаг пунктов приёма и возбуждения 50 м создают благоприятные условия для сохранения пространственной детальности волнового поля и регистрации слабых дифрагированных и рассеянных составляющих, связанных с локальными нарушениями сплошности и неоднородностями ДЮК (Давлетова и др., 2020; Керусов и др., 2023; Бояркин и др., 2024). Большие удаления и многолинейная симметричная расстановка, в свою очередь, повышают полноту углово-азимутального освещения целевого интервала и создают необходимые предпосылки для последующей полноазимутальной глубинной миграции и анализа волнового поля в локально-угловой области. Применяемая расстановка оптимальна по удалениям, ее уплотнение не прибавит углов выхода отражений из-за скоростных характеристик разреза.

Для работы с доюрским комплексом выполняются следующие этапы: изотропная глубинная миграция Кирхгофа, томографическое уточнение скоростной модели, определение параметров VTI и дальнейшее выполнение анизотропной глубинной миграции до суммирования по алгоритму Кирхгофа с бином 25 на 25 метров. Построенная финальная анизотропная глубинно-скоростная модель (ГСМ), а также кубы анизотропных параметров и DAC (Dip, Azimuth, Continuity) атрибутов используются для выполнения полноазимутальной ТТИ (Tilted Transverse Isotropy) глубинной миграции EarthStudy 360 (Aspen).

Именно на уровне отложений доюрского комплекса преимущества этого подхода обеспечивают наибольший эффект, и причина этого заключается в различии скоростей продольных волн в ДЮК и вышележащей юрской толще. Учет влияния этого контраста на распространение сейсмических волн возможен только при использовании глубинной миграции. В результате улучшается и позиционирование, и динамическая выразительность отражений (особенно наклонных), а более корректный учет кинематики отражений позволяет надежнее подавить кратные отражения с помощью фильтра Радона (рис. 3).

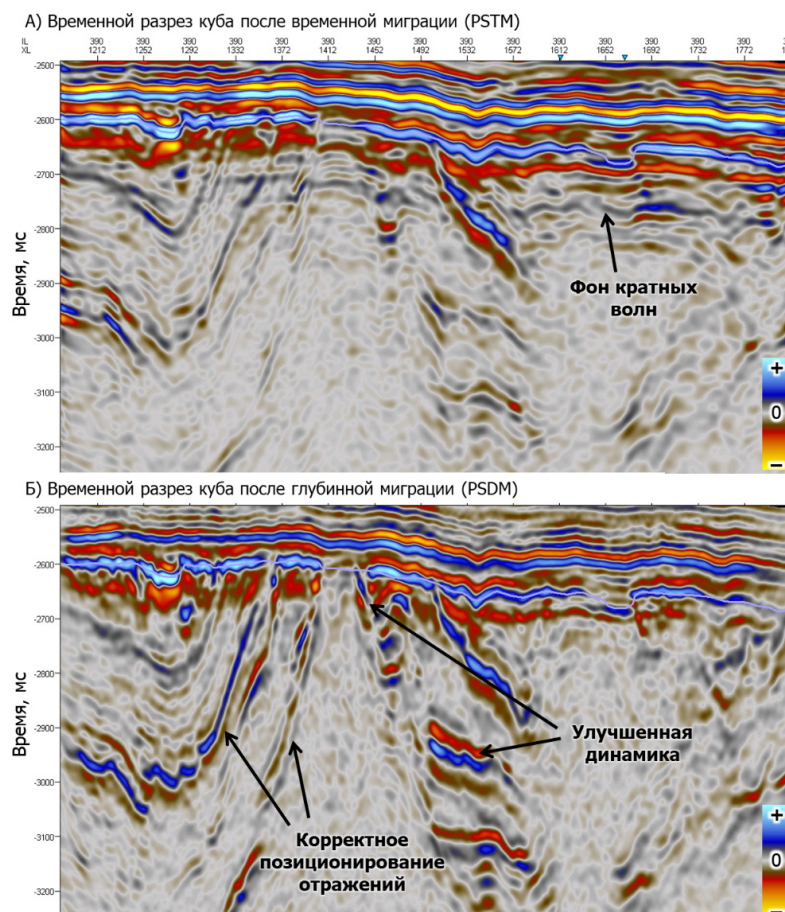


Рис. 3. Примеры сейсмических разрезов по кубам временной миграции (А) и глубинной миграции (Б)

*Кровля доюрского комплекса – опорный горизонт «А»
Неопределенности при прослеживании*

Опорный горизонт «А», маркирующий кровлю доюрского основания, представляет собой сложную сейсмогеологическую границу, формирование которой обусловлено резким скачком акустических свойств при переходе в невыветрелые породы фундамента. В сейсмическом поле он фиксируется как высокоамплитудное отражение положительной полярности, однако его корреляция сопряжена со значительными трудностями из-за интенсивной дислоцированности и тектонической раздробленности пород.

Ключевым фактором, усложняющим интерпретацию, является наличие коры выветривания, которая зачастую не формирует выраженного акустического контраста или проявляется как слабовыраженный отрицательный экстремум. Неравномерная степень выветрелости и изменчивый по латерали литологический состав комплекса приводят к неоднозначности корреляции подошвы юрских отложений и кровли акустически жёсткого фундамента.

Волновая картина горизонта «А» характеризуется изменчивой динамикой, особенно в зонах выступов фундамента с крутыми склонами, где фокусировка отражения традиционно недостаточна. Применение глубинной миграции позволяет существенно улучшить пространственную разрешающую способность и стабильность прослеживания границы по площади (рис. 4). Несмотря на это, надёжность корреляции отражения остаётся низкой из-за эрозионного характера рельефа кровли комплекса, наличия локальных структурных особенностей,

неоднозначности волновой картины в областях с параллельным характером несогласия в основании юрского терригенного комплекса.

Поэтому окончательная структурная модель строится преимущественно на основе данных миграции с предварительным использованием PSTM-куба лишь для построения начальных структурно-тектонических моделей.

Итоговая карта изохрон и структурная карта формируются исключительно по результатам ручной коррекции по кубу PSDM для сохранения локальных деталей рельефа. Контроль качества прослеживания производится с использованием карт толщин вышележащих компенсирующих юрских отложений, одним из инструментов анализа является оценка амплитуды структуры вверх по разрезу, при корректной корреляции амплитуда уменьшается от ОГ «А» к ОГ «Б».

Интерпретация опорного горизонта «А» требует комплексного подхода, сочетающего сейсмические данные с априорной геологической информацией о составе комплекса и наличии (по скважинным данным) коры выветривания.

Морфологические особенности кровли ДЮК

Геоморфологический анализ при картировании границ рифтовой долины играет одну из ключевых ролей. В пределах описываемого участка позднепермь–раннетриасового рифта этот анализ хорошо согласуется с волновой картиной в интервале ДЮК и литологическим составом комплекса. Например, на рис. 5 анализ кровли доюрского

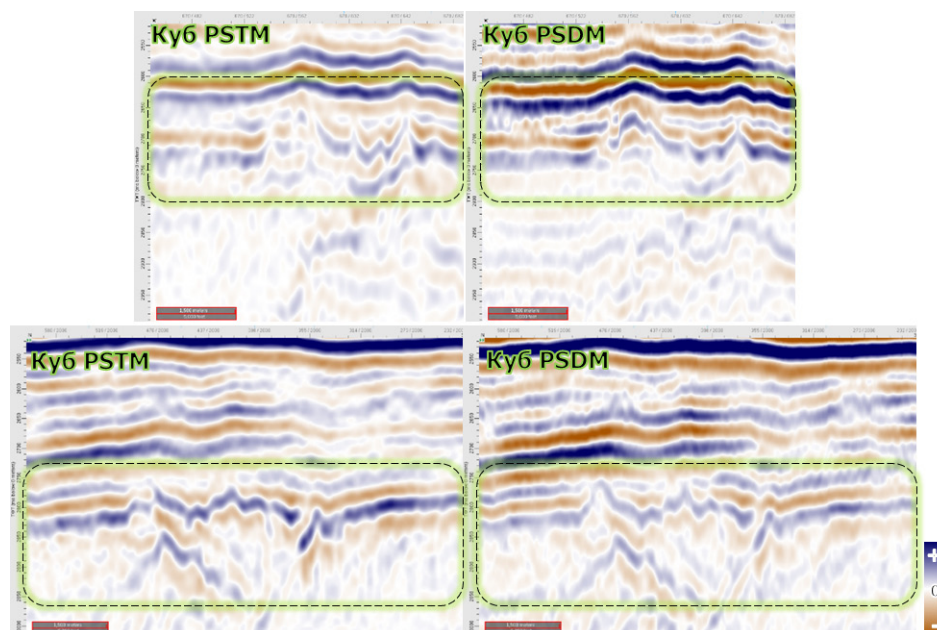


Рис. 4. Примеры сейсмических разрезов с улучшением фокусировки ОГ «А» по кубам временной миграции PSTM и глубинной миграции PSDM

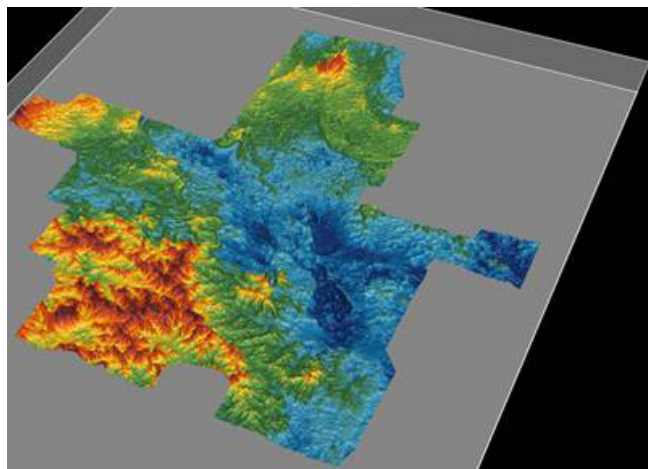


Рис. 5. Геоморфологические особенности кровли доюрского комплекса на ряде изученных участков

комплекса позволяет выделить три крупномасштабные зоны: «горную страну» – основную область развития вулканических пород, заметно пенепленизированный палеозойский блок (север–северо-восток), а также расположенная в центральной части зона развития пермь-триасовых вулканитов с цепочкой эродированных жерл палеовулканов, граничащих с крупными впадинами, маркирующими восточный борт рифтовой долины. Возможные эродированные жерла вулканов выглядят на сейсмических разрезах как зоны волнистых, низкоамплитудных, прерывистых непрослеживаемых отражений. На восточном борту рифта присутствуют крутопадающие к центральной части отражения, маркирующие границу блоков фундамента. Отметим, что жерла и магмаподводящие каналы – это не зоны полной акустической прозрачности, как предполагалось ранее (Курышева, 2005).

Однако, не всякая «горная страна» и не всякий акустически контрастный сейсмический облик является

прямым признаком развития кислой формации вулканитов пермь-триасового возраста. Подобный облик характерен и для областей развития базальтового вулканизма пермь-триасового возраста в пределах центральной части Западно-Сибирского бассейна. Только совместный анализ волновой картины, скважинной информации, керновых исследований и особенностей морфологии эрозионной кровли доюрского комплекса помогает решить задачу его районирования.

Сейсмическая интерпретация в областях развития вулканогенного типа разреза

Само по себе изучение и интерпретация доюрского комплекса Западной Сибири по сейсмическим данным вряд ли может быть подчинено единой методике ввиду региональных особенностей литофациального и тектонического строения. Различные подходы к интерпретации сейсмических материалов для исследования ДЮК изложены, к примеру, в работах (Конторович и др., 2024; Ахиярова, 2023; Курышева, 2005).

Одной из основных трудностей является неоднозначность при сопоставлении и привязке сейсмических и скважинных данных в интервале доюрского комплекса. Она вызвана, во-первых, малой глубиной вскрытия скважинами и недостаточным качеством записи методов ГИС, а во-вторых, нерегулярной и зачастую «немой» сейсмической волновой картиной с отсутствием выдержанных отражений. Это сводит интерпретацию к, фактически, структурно-тектоническому анализу, а изучение вещественного состава ограничивается сопоставлением сейсмообразов на качественном уровне и их типизации (табл. 1).

В противовес этому, во Фроловской мегавпадине Елизаровского прогиба встречены области развития вулканогенно-осадочной толщи с коррелируемыми отражениями внутри ДЮК, что указывает на ритмичность формирования слагающих его пород и комплексов.

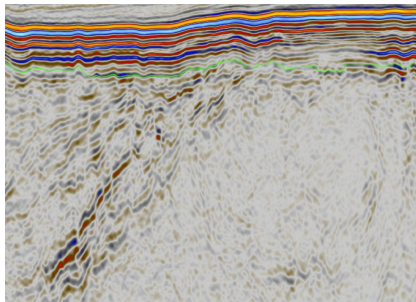
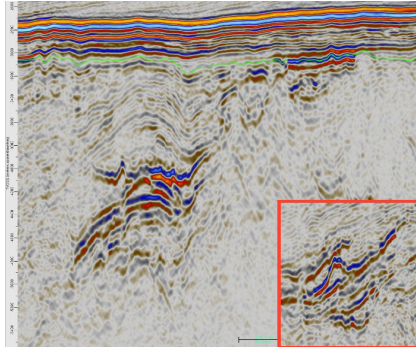
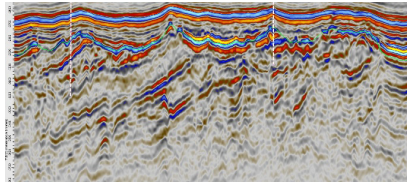
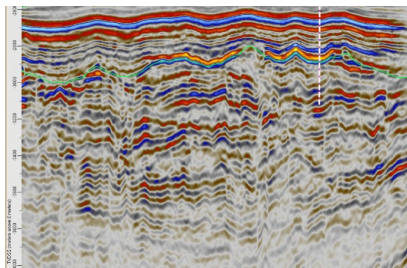
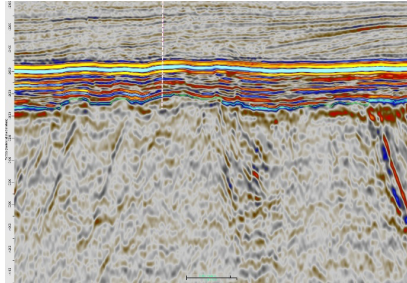
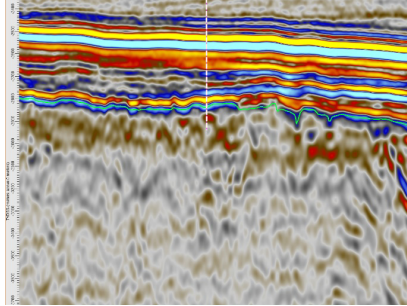
Сейсмический признак	Сейсмический облик	Интерпретация	Альтернативная интерпретация	Скважинное подтверждение
Круто наклонные параллельные, динамически изменчивые высокоамплитудные отражения на границе с акустически прозрачной областью		Граница интрузивного тела	Граница блока фундамента	Не подтверждено
«Антиклинальные» и конические, динамически изменчивые непротяжённые отражения		Погребённая вулканическая постройка / группа вулканических построек	Антиклинальные складки палеозойских отложений	Не подтверждено
Субпараллельные, слабонаклонные, динамически изменчивые, высокоамплитудные отражения		Область развития эффузивных пород кислого состава: туфов и лав вблизи вулканической постройки	В зонах развития базальтового вулканизма переслаивание вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород	Подтверждено многочисленными поисково-разведочными и эксплуатационными скважинами
Высокоамплитудные выдержанные отражения внутри ДЮК		Область развития эффузивных пород кислого состава: туфов и лав на удалении от вулканической постройки	В зонах развития базальтового вулканизма переслаивание вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород	Подтверждено многочисленными поисково-разведочными и эксплуатационными скважинами
Пакет прерывистых волнистых низкоамплитудных отражений/хаотическая форма записи, ограниченный крутопадающими интенсивными отражениями		Жерловая фация / магмаподводящий канал	Зона интенсивной трещиноватости для вулканического типа разреза / палеозойский блок с осадочным, магматическим или метаморфическим типом разреза	Подтверждено несколькими поисково-разведочными скважинами
Переход прерывистых, волнистых низкоамплитудных отражений к более амплитудным в верхней части комплекса		Палеозойский блок с осадочным, магматическим или метаморфическим типом разреза, кровля блока претерпела эрозионную переработку		Подтверждено поисково-разведочными скважинами

Табл. 1. Сейсмический облик доюрского комплекса, встреченного в центральной части Фроловской мегавпадины, и его интерпретация

В волновом поле отчётливо прослеживаются отражения, соответствующие в разрезах скважин пропласткам туфов, являющихся коллекторами УВ (Шмаков и др., 2023; Алексеев и др., 2025; Ростовцева и др., 2025). Этот факт, с одной стороны, обуславливает повышенный интерес к изучению доюрского комплекса, а с другой стороны, открывает возможности для детального анализа толщи по сейсмическим данным с применением всего арсенала методов, включая сейсмическую инверсию.

Границы распространения толщи триасовых вулканитов, предположительно, контролируются границами существовавшей во время их формирования рифтовой долины. При горизонтальном растяжении её осевой зоны и активном прогреве мантийным диапиром, формируются магмаподводящие каналы разного размера и эпизодов активности. Они могут быть условно выделены по сейсмическим данным – по крутонаклонным отражениям, формирующимся в бортах интрузии, при этом область самого канала может выглядеть как пакет обрывистых, волнистых, низкоамплитудных отражений (рис. 6, табл. 1) (Хисамутдинова и др., 2021).

Из этих магмаподводящих каналов формируются вулканические постройки центрального типа, активно извергавшиеся в течение 10–20 млн лет на границе пермско-триасового времени. Они формируют мощный комплекс переслаивающихся продуктов кислого вулканизма – неупорядоченно расположенных и латерально невыдержанных потоков лав, кластолав, протяжённых или, напротив, локальных тел туфов, тела игнимбритов и т.д. Сформированные пачки, линзы, пласты, покровы и потоки обладают очень сложной формой, взаимоотношением, раздувами мощностей, возможными локальными корами выветривания на поверхностях долго экспонированных в зоне эрозии потоков и покровов (табл. 1).

Неравномерно слоистый, условно стратифицированный разрез, сформированный вулканогенными породами с контрастными акустическими свойствами, обуславливает возможность его расчленения. Сейсмическая корреляция отражающих горизонтов внутри доюрского интервала выполняется по наиболее высокоамплитудным и выдержанным по горизонтали фазам. На отдельных участках площади она достаточно уверенная, на других

участках – имеет условный характер, с переходами с фазы на фазу с опорой на сейсмофациальные изменения волновой картины. Это свидетельствует о чередовании выдержанных горизонтально-слоистых коллекторов и вмещающих пород с угловыми несогласиями, вертикальными неоднородностями и резкими прекращением распространения отдельных геологических тел.

В большей части скважин в интервале доюрского комплекса выполнен акустический и плотностной каротаж, что даёт возможность выполнить детальную привязку их разрезов к волновому полю (рис. 7).

Петрофизическое обоснование прогноза коллекторских свойств в вулканогенном типе разреза. Сейсмическая инверсия

Для петрофизического обоснования возможности прогноза коллекторских свойств с использованием упругих характеристик проводился анализ гистограмм распределений упругих свойств для категорий литотипы, коллектор/неколлектор по измеренным кривым, прошедшим процедуры нормировки и коррекции.

В рассматриваемых скважинах отложения доюрского комплекса сложены туфами, риолитами и метариолитами. Наибольшими средними значениями объёмной плотности, скорости продольных волн и акустического импеданса обладают метариолиты, несколько ниже средние значения упругих параметров в риолитах, и наименьшими средними величинами упругих свойств характеризуются туфы (рис. 8). В последовательности литотипов метариолиты → риолиты → туфы происходит уменьшение значений плотности, скорости продольных волн и акустического импеданса. Анализ связи литологических и упругих свойств показывает возможность разделения в поле упругих параметров (V_p и акустический импеданс) области туфов и риолитов/метариолитов. Наибольший интерес представляют туфы, в которых сосредоточена большая часть коллекторов.

В класс коллекторов выделены породы преимущественно порового типа, обладающие необходимой и достаточной для фильтрации флюидов емкостью (пористостью выше граничного значения).

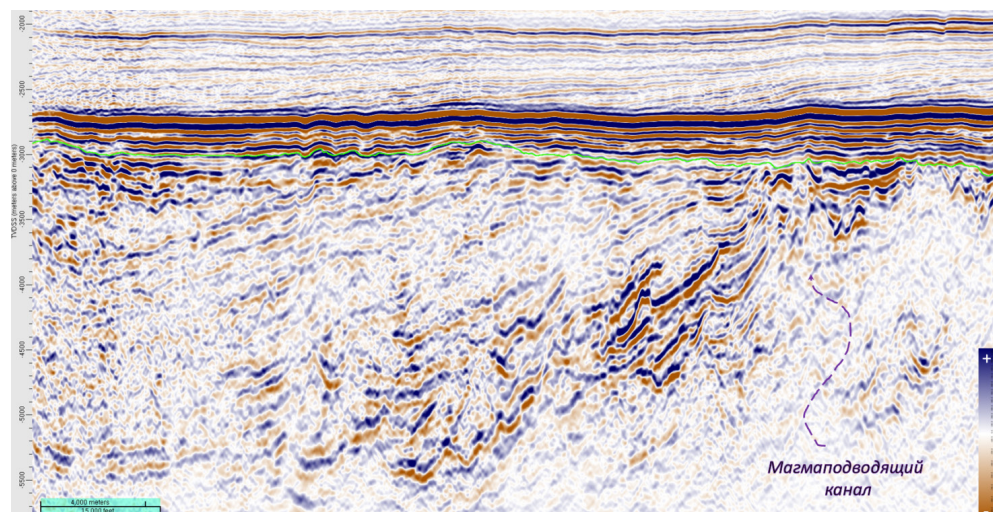


Рис. 6. Облик магмаподводящего канала в интервале ДЮК, расположенного на границе рифтовой долины и палеозойского блока

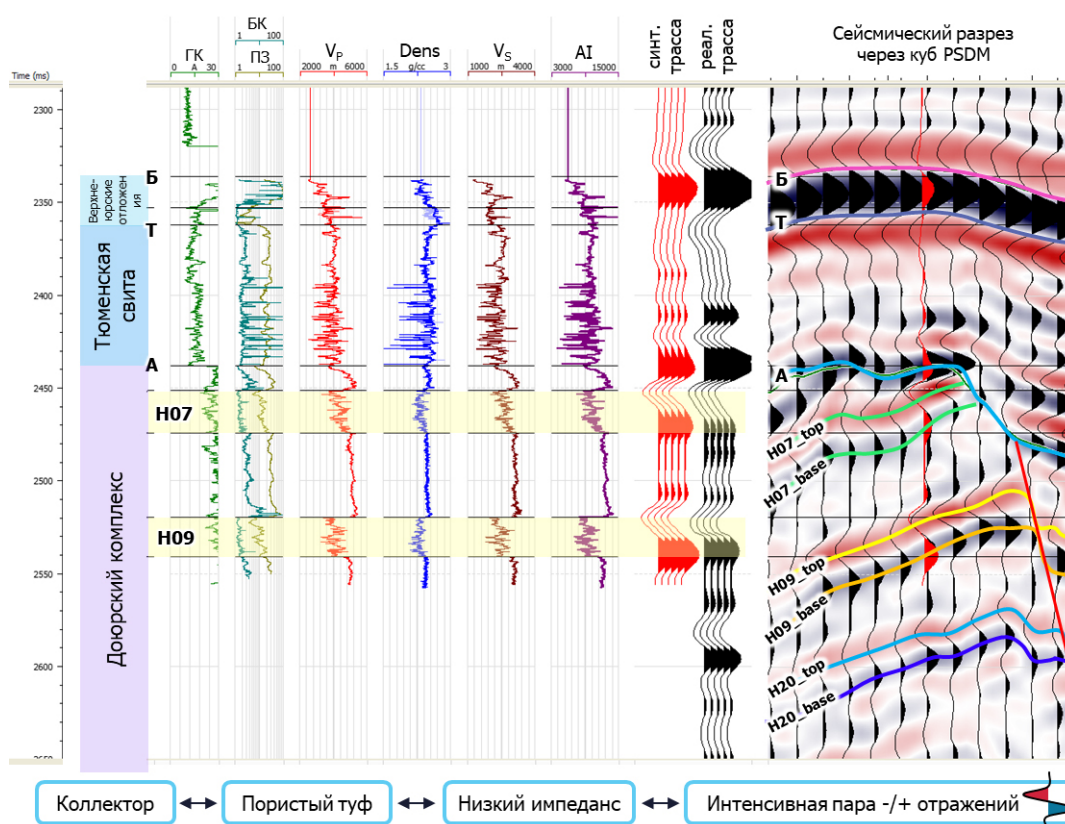


Рис. 7. Пример привязки сейсмического волнового поля к разрезу скважины в доюрском комплексе. H07 и H09 – условные номера туфовых пачек

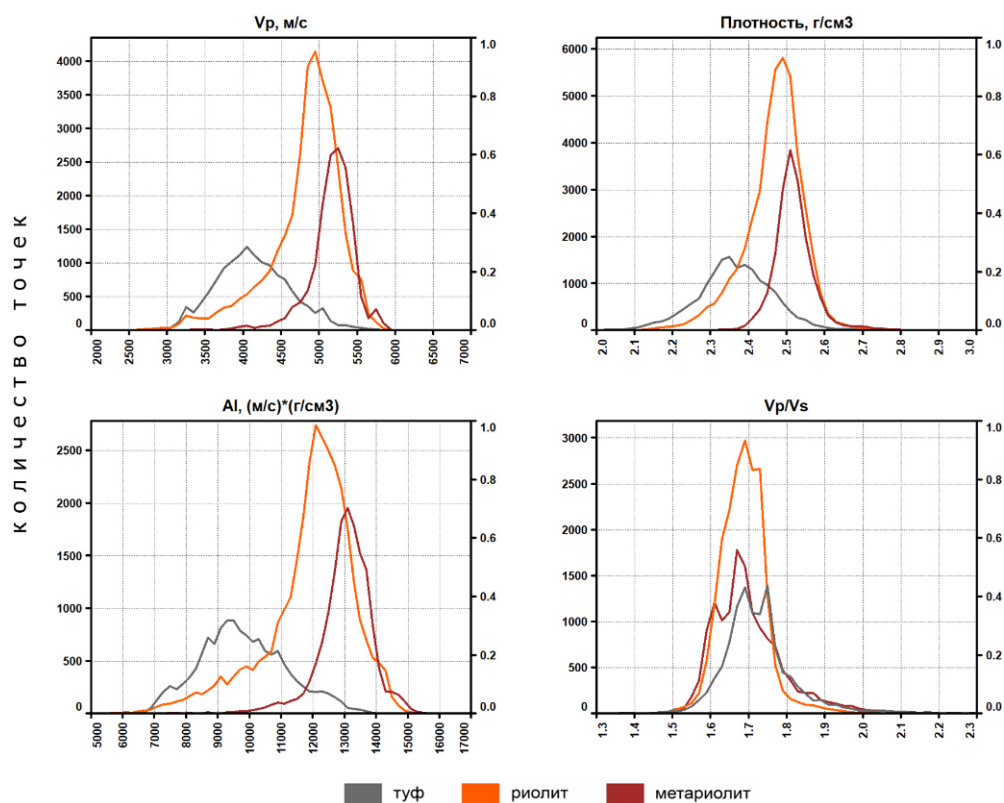


Рис. 8. Упругие свойства вулканогенных литотипов в интервале доюрских отложений

Коллекторы со сложным типом порового пространства, имеющие пористость ниже граничного значения, характеризующиеся наличием качественных признаков, отнесены в класс возможных коллекторов. В класс неколлекторов попадают оставшиеся плотные, жёсткие породы с низкой емкостью и проницаемостью (рис. 9).

Согласно рис. 10, коллекторы характеризуются пониженными значениями скорости продольных волн, объемной плотности и акустического импеданса. Разделение пород на коллектор и неколлектор по величине отношения V_p/V_s отсутствует. Коллекторы со сложным типом порового пространства имеют, в целом, пониженные средние значения скорости V_p , плотности и акустического импеданса относительно неколлекторов, но полностью попадают в зону неколлекторов по упругим характеристикам как в одномерной, так и двумерной параметризации. Кросс-плот K_p - AI демонстрирует закономерное уменьшение величины акустического импеданса с ростом пористости пород (коэффициент корреляции составляет 0,82).

Исходя из характера распределения значений упругих свойств в коллекторах и неколлекторах, наблюдаемой тесной связи пористости пород и акустического импеданса, мощностей отдельных тел коллекторов, превышающих 10 м, есть предпосылки для прогноза интервалов поровых коллекторов и их пористости в межскважинном пространстве по величине акустического импеданса, получаемого в результате сейсмической инверсии.

Сейсмическая инверсия, позволяющая восстановить куб импеданса из волнового поля, является весьма эффективным методом для идентификации и прослеживания туфовых пачек в объеме, а также прогноза их коллекторских свойств. Высокая амплитуда и устойчивость отражений позволяет также полагаться на сейсмическое волновое поле при построении модели тектонических дислокаций (рис. 11). Все эти данные в совокупности позволяют построить трехмерную геологическую модель отложений доюрского комплекса и затем использовать ее для оценки запасов и ресурсов, планирования геологоразведочных работ (ГРП).

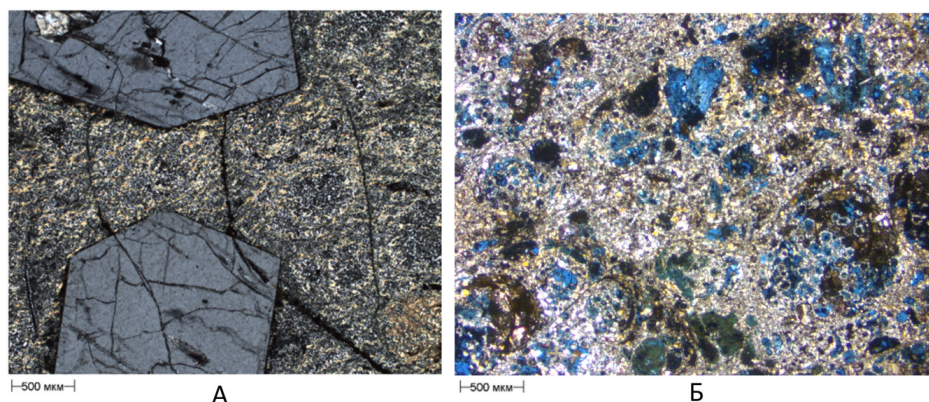


Рис. 9. Облик неколлектора А (риолит, николи X) и коллектора Б (вторично изменённый туф с фрагментами перлитов, николи X, шлиф покрашен)

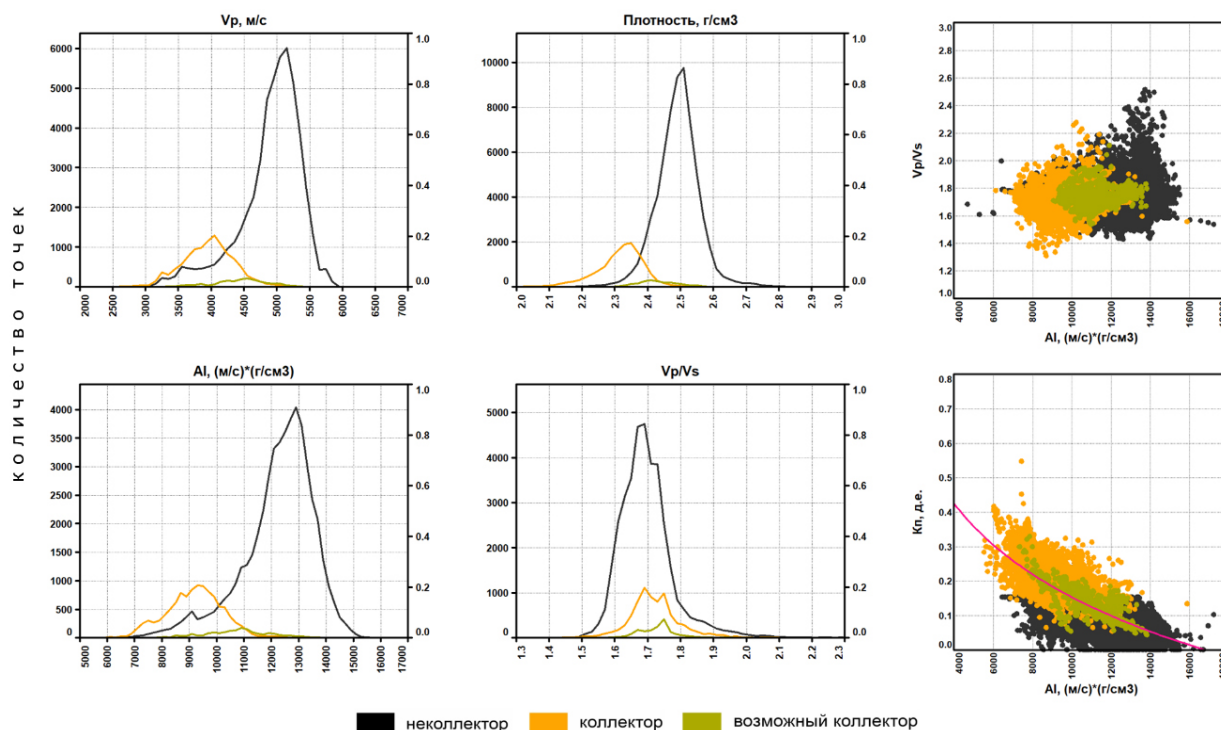


Рис. 10. Упругие свойства вулканогенных коллекторов и неколлекторов в интервале доюрских отложений

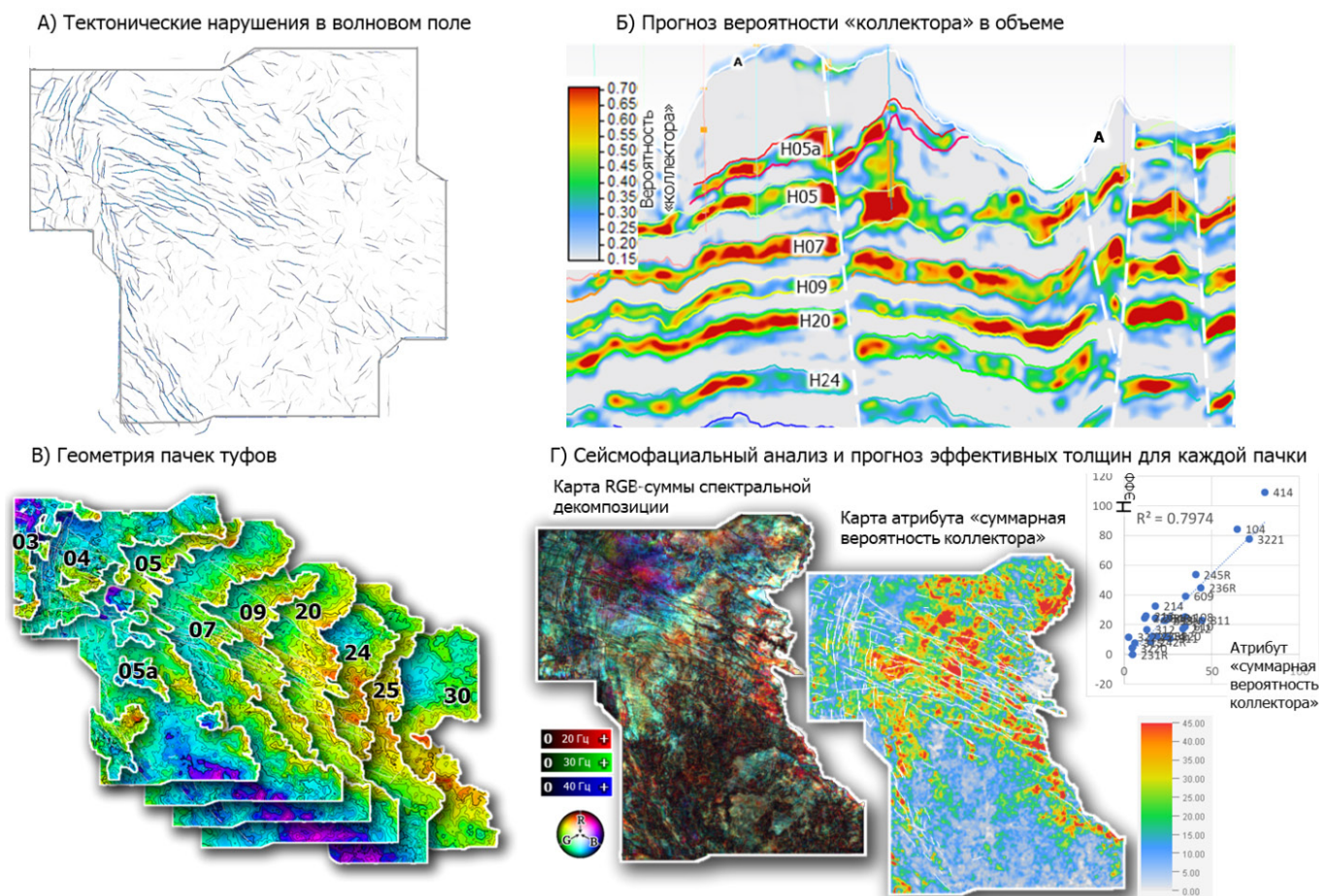


Рис. 11. Комплекс результатов сейсмической интерпретации, информативный в областях развития вулканитов доюрского комплекса

Сейсмическая инверсия в интервале ДЮК рассчитывалась в рамках двухчленной аппроксимации уравнения Цёппригца по угловым суммам в диапазоне углов падения до 30–35 градусов.

Построение фоновой модели доюрского комплекса представляет собой сложную геофизическую задачу, требующую специализированных исследований. Основными ограничениями являются недостаточная плотность разведочного бурения (небольшое количество скважин, вскрывших фундамент на значительную глубину), что затрудняет прямую интерполяцию скважинных данных, а также сложность прослеживания отражающих горизонтов в интервале доюрского комплекса.

В зависимости от решаемых геолого-геофизических задач применялись два различных подхода к формированию фоновой модели:

1. Прогноз туфовых коллекторов. В этом подходе использовался метод последовательной адаптации. На первом этапе модель задавалась глубинным трендом импеданса, рассчитанным по самым глубоким скважинам только по породам-неколлекторам: риодацитам и риолитам. Выполнялась сейсмическая инверсия с последующей корректировкой результатов. Значения импеданса, полученные в ходе инверсии и оказавшиеся ниже исходной фоновой модели, интегрировались в неё; значения выше – исключались. Контроль качества проводился по данным глубоких скважин. Оптимальное совпадение расчётной модели с данными ГИС было достигнуто после второй

итерации процесса инверсии. Применённый подход позволяет учесть структурные особенности отложений ДЮК в рамках инверсионной модели без необходимости корреляции отдельных сейсмических горизонтов.

2. Для оценки вещественного состава вблизи кровли ДЮК применялся алгоритм, основанный на анализе контраста акустических жесткостей. Первоначально выполнялась инверсия для количественной оценки контраста на границе кровли ДЮК. Модель строилась исключительно на основе импедансов в интервале тюменской свиты. Для высокоамплитудного отражения (ОГ «А») рассчитывался коэффициент контраста ДЮК. На его основе вычислялась карта импеданса верхних 100–150 метров отложений ДЮК, которая калибровалась по скважинным данным с использованием линейных коэффициентов регрессии. На глубинах более 200 м от поверхности ОГ «А» акустические жесткости пород ДЮК принимались за константу, а пространственное распределение определялось методом интерполяции. Для решения поставленной задачи этого достаточно. Здесь снова нет необходимости использовать для построения модели ОГ в ДЮК.

Объёмное распределение вероятности коллекторов неоднократно подтверждено результатами бурения скважин (рис. 12). Сам факт наличия туфового пропластка при его толщине более 10–15 м прогнозируется вполне устойчиво. Это позволяет исследовать наличие гидродинамической связи между отдельными скважинами, разобщенность между залежами в различных тектонических блоках

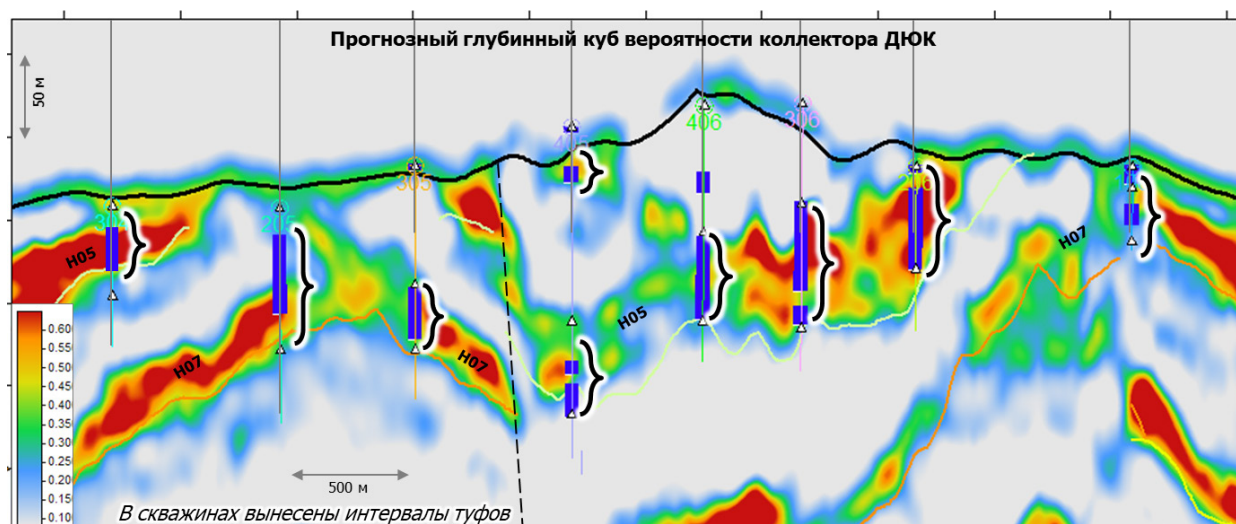


Рис. 12. Верификация прогнозного куба вероятности коллектора бурением новых скважин

и т.д. Прогноз применим к коллекторам порового типа; коллекторы со сложным типом порового пространства по упругим свойствам от неколекторов не разделяются, что ограничивает область применения метода. На количественном уровне при прогнозировании мощностей туфов и коллекторов в них наблюдаются погрешности до 25%.

Вероятностный прогноз вещественного состава отложений ДЮК за пределами областей развития вулканитов

Отдельной задачей, решаемой на протяжении последних лет, является оконтуривание вулканогенного разреза ДЮК и прогноз литологии палеозойских блоков фундамента в прикровельной части доюрского комплекса на основе сейсморазведки.

Прогноз и классификация отложений в доюрском комплексе затруднен тем, что зачастую в пределах месторождения они вскрыты в небольшом количестве скважин. Не во всех из них по данным ГИС измерены одновременно скорости продольных и поперечных волн, а также плотности. Из-за этого чаще всего отсутствует возможность идентифицировать отдельные петротипы в поле упругих параметров (Z_p – акустический импеданс, V_p/V_s – отношение скоростей продольных и поперечных волн), получаемых в результате AVA инверсии. Поэтому была собрана база данных, основанная на измерениях упругих свойств (V_p , V_s и плотность), выполненных на более чем 360 образцах керна из 50 скважин, расположенных на 30 лицензионных участках и месторождениях.

Всего по детальному описанию керна и шлифов в интервале ДЮК было описано 39 петротипов. Для получения статистически представительных выборок детальные описания были обобщены и укрупнены до петрокласов, которые объединяют породы, близкие по вещественному составу и/или упругим свойствам. В результате было сформировано 10 петрокласов, состоящих из различного числа петротипов. Так, например, петрокласы риолитов и габбро состояли из одного одноименного петротипа, а петроклас «кислые магматические породы» объединил в себе сразу 8 петротипов: аплиты, граниты,

гранодиориты, граносиениты, кварцевые диориты, кварцевые сиениты, лейкограниты и сиениты.

На кросс-плотах упругих свойств (Z_p и V_p/V_s) видно, что облака точек, отвечающие разным петрокласам (рис. 13), перекрываются друг с другом, поэтому для площадного прогноза применяется вероятностный подход, предполагающий использование функций плотности вероятности (ФПВ). Для двух переменных она имеет вид:

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x_1 - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \rho \frac{2(x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(x_2 - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\}.$$

где x_1 – продольный импеданс, x_2 – отношение V_p/V_s , μ_1 и μ_2 – математические ожидания, σ_1^2 и σ_2^2 – дисперсии, $\sigma_1^2\sigma_2^2$ – ковариация, $\rho = \sigma_1^2/(\sigma_1^2\sigma_2^2)$ – коэффициент корреляции случайных величин. Необходимые ФПВ параметры, вычисляются по соответствующим точкам (Z_p , V_p/V_s), полученным по измерениям на керне.

Следующей проблемой вероятностного прогноза ДЮК является априорное соотношение петрокласов на заданном месторождении. Только по соотношению числа образцов керна его определить невозможно, так как такая выборка статистически не представительна. Без него при прогнозе будет предполагаться, что все петрокласы с равной вероятностью представлены на исследуемом участке. Но это не учитывает геологические особенности строения доюрского комплекса в пределах полигона исследований, что некорректно. Поэтому предварительно на исследуемом участке геолог определяет количество и соотношение петрокласов, возможно разделяет полигон на отдельные зоны, с разными соотношениями петрокласов.

Площадная классификация выполняется методом Гауссова дискриминантного анализа на базе карт продольного импеданса и отношения V_p/V_s , рассчитанных по кубам упругой AVA инверсии вблизи кровли ДЮК. Сама инверсия рассчитывается модель-базируемым методом в диапазоне углов падения 10–35 градусов с импульсом,

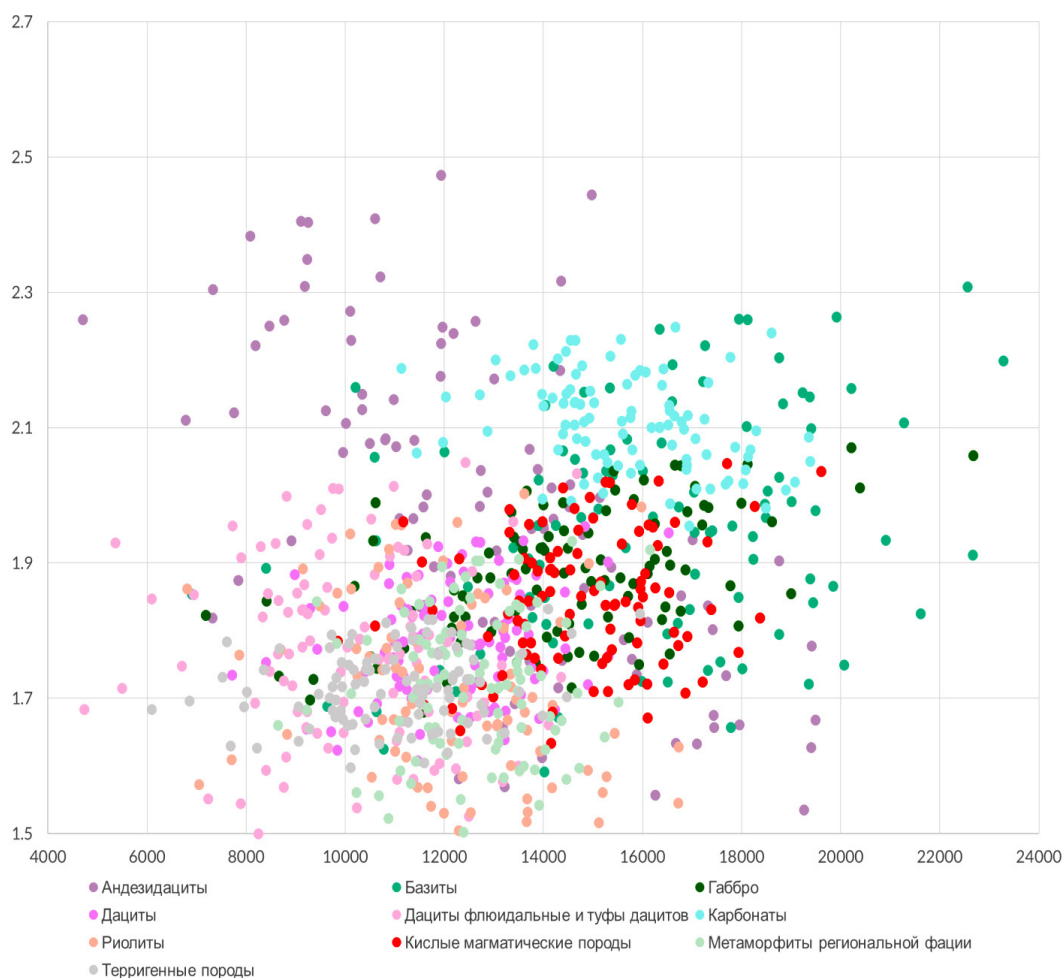


Рис. 13. Кросс-плоты $Z_p - V_p/V_s$ петрокласов в ДЮК по данным исследования керн

оцененным статистическим методом. Для каждого петрокласа в поле упругих свойств $Z_p - V_p/V_s$ рассчитывается соответствующая дискриминантная функция (ДФ): отношение значения ФПВ для отдельного петрокласа к сумме значений всех функций плотности вероятности (рис. 13). На основе дискриминантных функций строится функция классификации (ФК): номер петрокласа с максимальным значением ДФ.

С помощью дискриминационных функций значениям двух карт упругих параметров (Z_p и V_p/V_s), рассчитанных в результате упругой инверсии, в любой точке исследуемой площади может быть сопоставлена серия значений вероятности присутствия каждого из возможных петрокласов (рис. 14–16). Функция классификации в свою очередь каждой точке карты сопоставляет номер петрокласа с максимальным значением ДФ, т.е. пересчитывает упругие параметры в прогнозную дискретную карту петрокласов.

Заключение

Изучение доюрского комплекса (ДЮК) Фроловской мегападины подтверждает его стратегическую значимость и высокую нефтегазоносность. На текущий момент на балансе стоят 68 месторождений с запасами около 1 млрд тонн условного топлива, что делает его одним из ключевых направлений для расширения ресурсной базы Западно-Сибирского НГБ.

Ключевым технологическим решением в изучении комплекса является применение широкоазимутальной сейсморазведки 3D с обработкой в «истинных амплитудах» с полноазимутальной глубинной анизотропной миграцией. Этот подход позволяет сократить неопределенности корреляции опорного горизонта «А» – кровли ДЮК, характеризующейся резкими акустическими контрастами, эрозионным рельефом и наличием коры выветривания. Глубинная миграция обеспечивает точное позиционирование наклонных отражений и подавление кратных волн, что критически важно для построения достоверной структурной модели.

В статье приведены результаты изучения вулканогенного типа разреза пермь-триасового возраста. Благодаря высокой пористости и низким значениям акустического импеданса, пористые вулканические разности туфовой пачки (включая туфы и кластолавы кислого состава) демонстрируют улучшенные коллекторские свойства. Проведенный петрофизический анализ показал четкую связь между литологическим составом пород и их упругими свойствами. Эта закономерность позволяет использовать результаты сейсмической инверсии для прогноза интервалов поровых коллекторов, связанных с идентифицированными в скважинах туфовыми пачками. Выявленная тесная связь между акустическим импедансом и пористостью дает возможность выделять продуктивные пачки туфов в межскважинном пространстве.

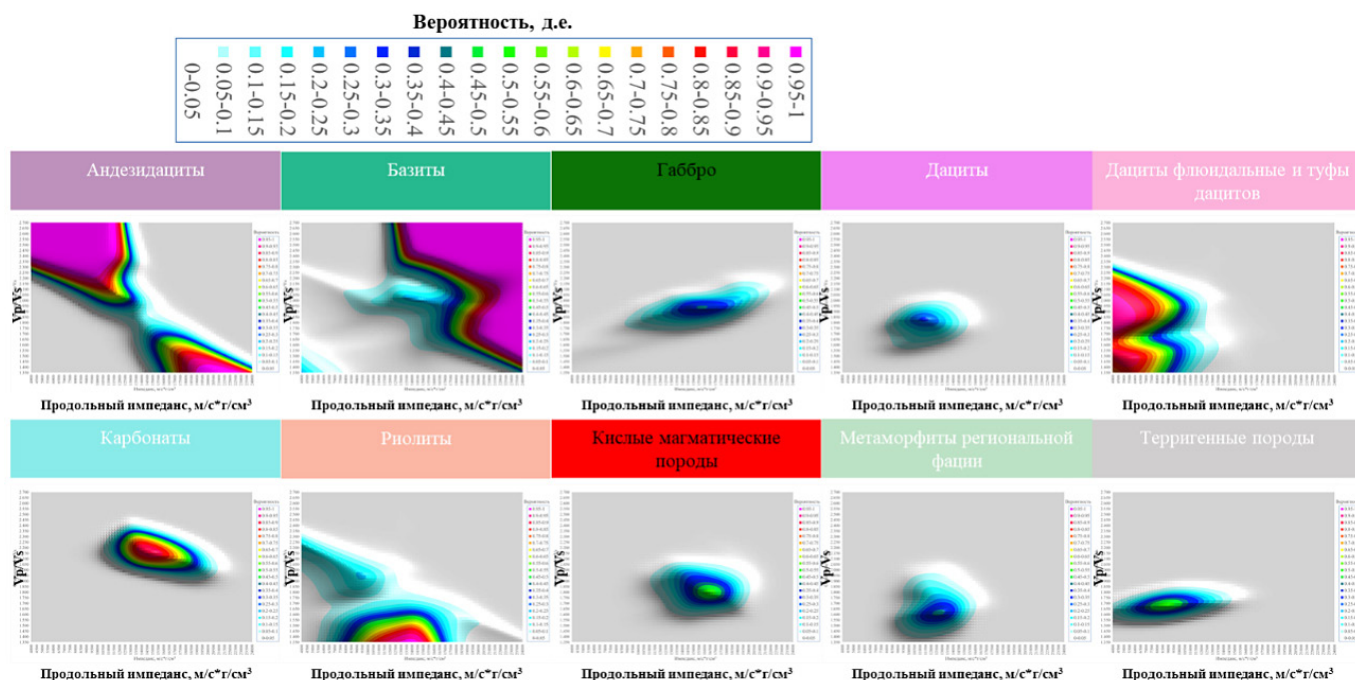


Рис. 14. Дискриминантные функции петрокласов в ДЮК

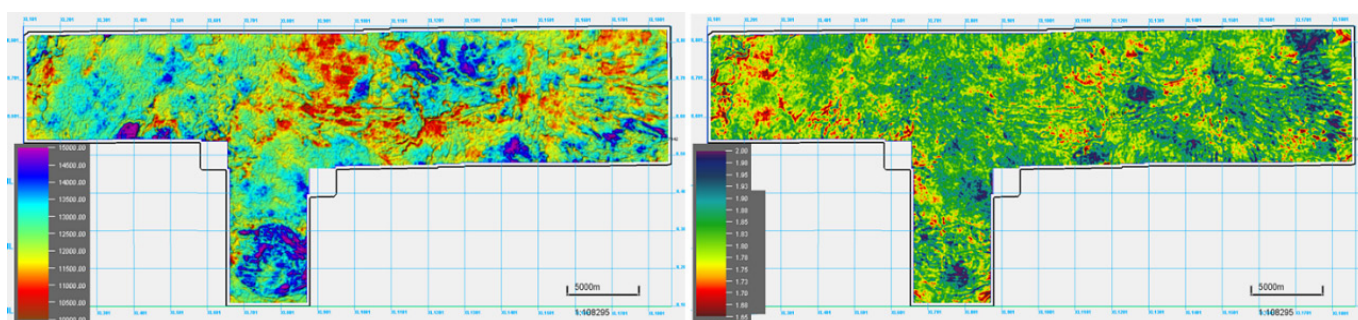


Рис. 15. Расчётные карты продольного импеданса (слева) и отношения V_p/V_s (справа), по кубам упругой AVA инверсии

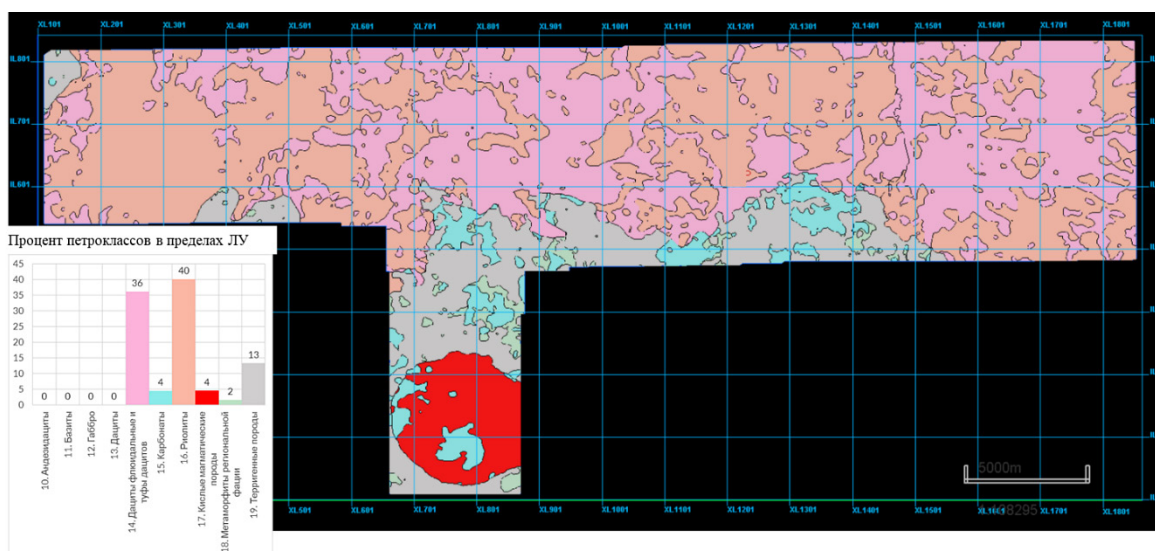


Рис. 16. Пример классификации отложений вблизи кровли ДЮК

Для решения проблемы прогноза состава прикровельной части доюрского комплекса по сейсмическим данным предложен вероятностный метод классификации. На основе базы данных измерений акустических свойств на керне (более 360 образцов) сформированы функции плотности вероятности для 10 петрокласов. Использование Гауссова дискриминантного анализа по картам продольного импеданса и отношения V_p/V_s позволяет прогнозировать распределение различных типов пород в прикровельной части ДЮК и оценивать перспективность того или иного блока фундамента.

Обобщая накопленный опыт, можно утверждать, что только комплексный подход, а именно:

- анализ локализации площади исследований в региональном геологическом плане;
- проектирование современной съёмки 3D и проведение полевых работ с высоким качеством; обработка сейсмических данных по современному графу с глубинной миграцией;
- сейсмостратиграфический анализ с детальным расчленением интервала доюрского комплекса;
- подробный литологический анализ по керну состава вулканогенных пород, слагающих комплекс, установление основных закономерностей их формирования и пространственного соотношения;
- петрофизический анализ и установление взаимосвязей с упругими свойствами пород по данным ГИС и исследований керна в границах сейсмостратиграфической иерархии;
- увязка сейсмических данных и данных бурения скважин для выделения объектов детального атрибутного анализа в масштабах отдельных пачек и продуктивных пластов;
- атрибутный анализ и синхронная упругая инверсия;
- вероятностный геостатистический прогноз наличия коллекторов в границах условной сиквенс-стратиграфической схемы расчленения ДЮК на пласты или пачки;

поможет в решении нетривиальной задачи прогнозирования коллекторов в вулканогенном комплексе отложений позднепермь–триасового возраста Западной Сибири. Подход переносим к областям развития рифтогенных кислых вулканитов пермь–триасового возраста; для карбонатных и метаморфических блоков фундамента требуются иные схемы прогноза.

Интеграция современной 3D сейсморазведки, современного графа обработки, детального петрофизического анализа и вероятностного моделирования создает надежную методологическую базу для снижения неопределенностей при бурении и повышения эффективности разведки ресурсов доюрского основания Западной Сибири.

Финансирование/Благодарности

Благодарим компанию ПАО «ЛУКОЙЛ» за возможность публикации материалов. ООО «НК «Югранефтепром» за многолетнее плодотворное сотрудничество, междисциплинарную команду специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», работающих на объектах Фроловской мегападины, за обсуждение полученных результатов, критические замечания, совместную проработку стратегии и анализ результатов бурения. Спасибо рецензентам

за ценные замечания, которые помогли улучшить рукопись. Отдельную благодарность выражаем Керусову И.Н., Кучерявенко Д.С., Панченко И.В., Куликову П.Ю., Гаврилову С.С.

Литература

- Алексеев А.Д., Немова В.Д., Сапогова Е.Е., Ростовцева Ю.В. (2025). Изучение природных резервуаров вулканогенно-осадочного доюрского комплекса Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. *Russian Journal of Earth Sciences*, 25. ES4014. DOI: 10.2205/2025es001043. EDN: KJDUFZ
- Ахиярова Е.Р. (2023). Методика динамического анализа сейсмических данных для изучения строения доюрского комплекса Нюрольской структурно-фациальной зоны Западной Сибири: *диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук*. 118 с. EDN: WLIWBK
- Бояркин Р. Ю., Керусов И.Н., Хисамутдинова А.И. (2024). Построение объёмных полей дифрагированных волн в области углов отражения, настроенных на интервал доюрского комплекса Западной Сибири. *Геофизика*, 6, с. 2–10. DOI 10.34926/geo.2024.44.31.001. EDN: IPXUVK
- Губин И.А., Канакова К.И. (2013). Сейсмогеологическая модель и прогноз нефтегазоносности палеозойских отложений южной части Горелоярского куполовидного мезоподнятия (Верхнекомбарская площадь, Томская область). *Геология нефти и газа*, 5, с. 56–64.
- Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа: атлас (2004). Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И.Шпилемана. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 148 с.
- Гриневский А.С., Хисамутдинова А.И., Бояркин Р.Ю., Керусов И.Н., Мирошниченко Д.Е., Алексеева П.А., Кучерявенко Д.С. (2021). Возможность широкоазимутальной сейсморазведки для исследования перспектив среднеюрского и доюрского комплексов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 5(353), с. 30–39. DOI 10.33285/2413-5011-2021-5(353)-30-39. EDN: DFHISQ
- Давлетова Л.И., Бояркин Р.Ю., Микеров Г.А., Керусов И.Н., Хисамутдинова А.И., Мирошниченко Д.Е. (2020). Изучение тектонических нарушений доюрского комплекса Западной Сибири методом дифракционной визуализации. *Экспозиция Нефть Газ*, 2, с. 16–19.
- Добрыден С.В., Ефимов В.А., Кондаков А.П., Туренко С.К. (2024). Петрофизика вулканогенно-осадочной толщи Красноленинского свода. Тюмень: ТИУ, 162 с.
- Керусов И.Н., Бояркин Р.Ю., Хисамутдинова А.И. (2023). Интерпретация сейсмических дифрагированных волн для изучения доюрского комплекса на участке Фроловской мегападины. *ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес: труды VI Международной геолого-геофизической конференции*. Тверь, Т. II(III), с. 131–134. EDN: ATEJNA
- Конторович В.А., Конторович А.Э., Аюнова Д.В., Ибрагимова С.М., Бурштейн Л.М., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Канакова К.И., Костырева Е.А., Соловьев М.В., Филиппов Ю.Ф. (2024). Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений Юго-восточных районов Западной Сибири. *Геология и геофизика*, 65, 1, с. 72–100. DOI 10.15372/GiG2023181. EDN: OWCTPK
- Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Минченков Н.Н. и др (2009). Доюрское основание (ПСЭ) в Западной Сибири – объект новых представлений на природу нефтегазоносности (из опыта исследований и практического освоения Рогожниковского ЛУ). *Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО – Югры. Двенадцатая научно-практическая конференция*. Ханты-Мансийск, Т. 1, с. 214–218.
- Краснощечкова Л.А., Вологодина И.В., Гарсия Бальса А.С. (2024). Кора выветривания доюрского комплекса Калиновского месторождения углеводородов Томской области: особенности состава и строения. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 335(6), с. 160–174. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4699
- Курышева Н.К. (2005). Прогнозирование, картирование залежей нефти и газа в верхней части доюрского комплекса по сейсмогеологическим данным в Шаимском нефтегазоносном районе и на прилегающих участках: *диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук*. Тюмень, 236 с. EDN: NNMSSF
- Лебедев М.В., Соколовская О.А., Яневич Р.Б. (2014). Методика и результаты прогноза коллекторов в коре выветривания Северо-Варьёганского месторождения. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 3, с. 4–12.

Медведева Т.Ю., Цимбалюк Ю.А. (2016). Создание геолого-геофизических моделей доюрского основания Западной Сибири с целью выявления новых нефтегазоперспективных объектов на основе инновационных технологий обработки и интерпретации геолого-геофизических данных. Итоговый геологический отчет по государственному контракту Тюмень: ФГБУ «ЗапСибНИИГ».

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (2004). Ред. Ф.Г. Гурари, Н.К. Могучева, Б.Н. Шурыгин и др. Новосибирск: СНИИГГиМС, 114 с.

Ростовцева Ю. В., Немова В. Д., Немченко Н. В., Томасенко С. В., Пустыльников В. В. (2025). Петрогенетическая типизация кислых вулканитов кровли нефтеносного доюрского комплекса месторождения в Елизаровском прогибе Западно-Сибирской плиты. *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES4013. DOI: 10.2205/2025es001042. EDN: DMLDTW

Смирнова М.Е., Панченко И. В., Куликов П. Ю., Латышев А. В., Токмакова А. И., Трушкова Ю. И., Сапогова Е. Е., Бакулин А. А., Шамаков В. Д. (2024). Строение, петротипы и коллекторские свойства измененных пермско-триасовых рифов в грабенах Фроловской мегаплатины Западной Сибири. *Литология и полезные ископаемые*, 2, с. 245–276. DOI: 10.31857/S0024497X24020065. EDN: ZBSZGR

Ступакова А.В., Соколов А.В., Соболева Е.В., Кирюхина Т.А., Курасов И.А., Бордюг Е.В. (2015). Геологическое изучение и нефтегазоносность палеозойских отложений Западной Сибири. *Георесурсы*, 2(61), с. 63–76. <http://dx.doi.org/10.18599/grs.61.2.6>

Харахинов В.В. (2019). Нефтегазовая геодинамика Западно-Сибирского осадочного мегабассейна. *Геология нефти и газа*, 2, с. 5–21. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-2-5-21

Хисамутдинова А.И., Алексеева П.А., Романчук А.Ф., Мирошниченко Д.Е., Керусов И.Н., Бакулин А.А., Кучерявенко Д.С., Кирьянова Т.Н. (2021). Строение и прогноз коллекторов доюрского комплекса на одном из участков Елизаровского прогиба Фроловской мегаплатины по данным сейсморазведки 3D в условиях отсутствия скважинной информации. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 6(4). http://www.ngtp.ru/pub/2021/38_2021.html

Хисамутдинова А.И., Гриневский А.С., Романчук А.Ф., Мирошниченко Д.Е., Касков Н.Р., Шорохова А.П., Бакулин А.А. (2024). Строение и перспективы доюрского комплекса северной части Фроловской мегаплатины (Елизаровский прогиб) по данным сейсморазведки 3D. *Сборник материалов конференции «Геонауки: современные вызовы и пути решений»*, Санкт-Петербург, с. 301–305.

Хромова И.Ю., Кунин К.Н., Кашеев Д.Е., Хромова Е.В., Бакулин А.А. (2015). Создание модели продуктивности отложений доюрского комплекса на одном из месторождений Западной Сибири. *Доклад для Российской нефтегазовой технической конференции SPE*.

Шадрина С.В. (2009). К вопросу о геодинамической обстановке образования магматитов Рогожниковского ЛУ по новым геохимическим данным. *Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО – Югры. Двенадцатая научно-практическая конференция*. Ханты-Мансийск, 1, с. 219–223.

Шадрина С.В. (2018). Состав, строение, возраст пород доюрского основания северо-восточного обрамления Краснотенинского свода. *Геология нефти и газа*, 4, с. 27–33.

Шамаков В.Д., Касков Н.Р., Бакулин А.А., Шорохова А.П. (2023). Новые данные о геологическом строении и продуктивности доюрского комплекса Средне-Назымского месторождения. *Георесурсы*, 25(3), с. 111–118. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.14>

Latyshev A., Panchenko I., Smirnova M., Kulikov P., Trushkova Y., Sapogova E., & Bakulin A. (2025). The Permian-Triassic volcanic activity in the West Siberian basin: A buried silicic LIP coeval to the Siberian Traps. *Gondwana Research*, 141, pp. 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2025.02.019>

Сведения об авторах

Айсүлу Ильдаровна Хисамутдинова – кандидат геол.-мин. наук, ведущий геолог Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Aysylu.Khisamutdinova@lukoil.com

Антон Сергеевич Гриневский – кандидат тех. наук, ведущий геофизик Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Anton.Grineskiy@lukoil.com

Дмитрий Евгеньевич Мирошниченко – кандидат физ.-мат. наук, Начальник отдела экспертизы, разработки и внедрения методологических решений Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Dmitriy.Miroshnichenko@lukoil.com

Айгуль Фадисовна Романчук – кандидат геол.-мин. наук, ведущий геофизик Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Aigul.Romanchuk@lukoil.com

Алексей Андреевич Баранцев – ведущий геофизик Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Alexey.Barancev@lukoil.com

Роман Юрьевич Бояркин – главный специалист Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Roman.Boyarkin@lukoil.com

Татьяна Николаевна Кирьянова – начальник Управления сейсмических исследований по методологии, приоритетным и морским проектам, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Tatyana.Kiryanova@lukoil.com

Алексей Александрович Бакулин – руководитель проекта Центра развития и разработки ТРИЗ, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия
e-mail: Alexey.Bakulin@lukoil.com

Статья поступила в редакцию 15.07.2026;
Принята к публикации 04.09.2026; Опубликована 30.09.2026

Approaches to 3D Seismic Data Interpretation in the Study of the Pre-Jurassic Complex of Western Siberia (Frolovskaya Megadepression)

A.I. Khisamutdinova*, A.S. Grinevsky, D.E. Miroshnichenko, A.F. Romanchuk, A.A. Barantsev, R.Yu. Boyarkin, T.N. Kiryanova, A.A. Bakulin

Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Aysylu I. Khisamutdinova, e-mail: Aysylu.Khisamutdinova@lukoil.com

Abstract. The pre-Jurassic complex (PJC) of the Frolovskaya mega-depression in Western Siberia is a promising direction for expanding the resource base: 68 fields are currently on the state balance, holding geological reserves of approximately 965 million tonnes of oil equivalent. This paper summarizes experience in interpreting wide-azimuth 3D seismic data to study the structure and petroleum potential of the complex over an area characterized by 10 surveys (covering more than 2800 km²), 90 exploration wells, and over 500 production wells. It is shown that a reliable structural model of the PJC is achieved through full-azimuth anisotropic depth migration, which improves the focusing of dipping reflections and the suppression of multiples under conditions of erosional relief and a weathering crust. For areas of acid volcanic rocks development of Late Permian–Early Triassic age, a relationship has been established between lithological composition (tuffs, rhyolites, metarhyolites) and elastic properties: the most promising reservoirs are porous tuffs with reduced acoustic impedance, traceable from simultaneous seismic inversion data; reservoirs with a complex pore-space type are not reliably distinguished by elastic properties. Beyond the volcanic areas, a probabilistic forecast of the compositional makeup of the PJC's near-top section is proposed, using Gaussian discriminant analysis applied to P-impedance and Vp/Vs maps, based on a core elastic-property database (more than 360 samples, 10 petroclasses). The integration of seismic exploration, petrophysics, and probabilistic modeling reduces drilling geological risks and improves the efficiency of exploration operations.

Keywords: Western Siberia, Frolovskaya mega-depression, pre-Jurassic complex, Triassic, Paleozoic, 3D seismic survey

Recommended citation: Khisamutdinova A.I., Grinevsky A.S., Miroshnichenko D.E., Romanchuk A.F., Barantsev A.A., Boyarkin R.Yu., Kiryanova T.N., Bakulin A.A. (2026). Approaches to 3D Seismic Data Interpretation in the Study of the Pre-Jurassic Complex of Western Siberia (Frolovskaya Megadepression). *Georesursy = Georesources*, 28(3), pp. 28–45. <https://doi.org/10.18599/grs.2026.3.8>

Acknowledgements

We thank PJSC LUKOIL for the opportunity to publish this material, and LLC NK Yugraneftprom for years of fruitful cooperation. We also extend our gratitude to the multidisciplinary team of specialists from LLC LUKOIL-Engineering working on projects in the Frolovskaya Mega-Depression for discussing the findings, offering critical insights, and collaborating on strategy development and the

analysis of drilling results. We thank the reviewers for their valuable comments, which helped improve the manuscript. Special thanks go to I.N. Kerusov, D.S. Kucheryavenko, I.V. Panchenko, P.Yu. Kulikov, and S.S. Gavrilov.

The authors also wish to thank the anonymous reviewers for their valuable comments and suggestions, which helped improve the quality of the work.

References

- Alexeev A.D., Nemova V.D., Sapogova E.E., Rostovtseva Yu.V. (2025). Study of natural reservoirs of the volcanogenic-sedimentary pre-Jurassic complex of the West Siberian petroleum-bearing basin. *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES4014. (In Russ.) DOI: 10.2205/2025es001043
- Akhieva, E.R. (2023). Methodology for dynamic analysis of seismic data to study the structure of the pre-Jurassic complex of the Nyurolian structural-facies zone of Western Siberia. Cand. geol. and mineral. sci. diss. (In Russ.)
- Boyarkin R. Yu., Kerusov I.N., Khisamutdinova A.I. (2024). Construction of volumetric fields of diffracted waves in the region of reflection angles tuned to the interval of the pre-Jurassic complex of Western Siberia. *Geofizika*, 6, pp. 2–10. (In Russ.) DOI 10.34926/geo.2024.44.31.001
- Gubin I.A., Kanakova K.I. (2013). Seismo-geological model and prediction of oil and gas potential of Paleozoic deposits in the southern part of the Goreloyarsky dome-shaped meso-high (Verkhnekombarsky area, Tomsk region). *Oil and Gas Geology*, 5, pp. 56–64. (In Russ.)
- Geology and oil and gas potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug: atlas (2004). Khanty-Mansiysk: IzdatNaukaServis, 148 p. (In Russ.)
- Grinevsky A.S., Khisamutdinova A.I., Boyarkin R.Yu., Kerusov I.N., Miroshnichenko D.E., Alekseeva P.A., Kucheryavenko D.S. (2021). Opportunities of wide-azimuth seismic exploration for studying the prospects of the Middle Jurassic and pre-Jurassic complexes of the West Siberian petroleum province. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 5(353), pp. 30–39. (In Russ.) DOI 10.33285/2413-5011-2021-5(353)-30-39
- Davletova L.I., Boyarkin R.Yu., Mikerov G.A., Kerusov I.N., Khisamutdinova A.I., Miroshnichenko D.E. (2020). Study of tectonic faults in the pre-Jurassic complex of Western Siberia using the diffraction imaging method. *Expozitsiya Neft Gas*, 2, pp. 16–19. (In Russ.)
- Decision of the 6th Interdepartmental Stratigraphic Meeting on consideration and adoption of refined stratigraphic schemes of Mesozoic deposits of Western Siberia (2004). Ed. F.G. Gurari, N.K. Mogucheva, B.N. Shurygin et al. Novosibirsk: SNIIGGiMS, 114 p. (In Russ.)
- Dobryden S. V., Efimov V. A., Kondakov A. P., Turenko S. K. (2024). Petrophysics of the volcanogenic-sedimentary sequence of the Krasnoleninsky arch: monograph. Tyumen: TIU, 162 p. (In Russ.)
- Kerusov I.N., Boyarkin R.Yu., Khisamutdinova A.I. (2023). Interpretation of seismic diffracted waves for the study of the pre-Jurassic complex in a sector of the Frolovskaya mega-depression. *GeoEurasia-2023. Geological Exploration Technologies: Science and Business: Proceedings of the VI International Geological and Geophysical Conference*. Tver, Vol. II (III), pp. 131–134. (In Russ.)
- Kontorovich V.A., Kontorovich A.E., Ayunova D.V., Ibragimova S.M., Burshtein L.M., Kalinin A.Yu., Kalinina L.M., Kanakova K.I., Kostyreva E.A., Solovyev M.V., Filippov Yu.F. (2024). Geological structure and oil and gas potential of Paleozoic deposits in the southeastern regions of Western Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 65(1), pp. 72–100. (In Russ.) DOI 10.15372/GiG2023181
- Korovina T.A., Kropotova E.P., Minchenkov N.N. et al. (2009). Pre-Jurassic basement (PSSE) in Western Siberia – an object of new concepts on the nature of oil and gas potential (from research experience and practical

development of Rogozhnikov LU). *Ways to realize the oil and gas and mineral potential of KhMAO – Yugra. Twelfth scientific-practical conference*. Khanty-Mansiysk, Vol. 1, pp. 214–218. (In Russ.)

Krasnoschekova L.A., Vologdina I., Garcia Balza A.S. (2024). Weathering crust of the pre-Jurassic complex of the Kalinovo hydrocarbon field in the Tomsk region: composition and structure features. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Engineering of GeoResources*, 335(6), pp. 160–174. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4699

Kuryshcheva N.K. (2005). Forecasting and mapping of oil and gas accumulations in the upper part of the pre-Jurassic complex based on seismo-geological data in the Shaima petroleum-bearing district and adjacent areas. Cand. geol. and mineral. sci. diss. Tyumen. (In Russ.)

Lebedev M.V., Sokolovskaya O.A., Yanevits R.B. (2014). Methodology and results of reservoir prediction in the weathering crust of the Severo-Varyeganskoye field. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 3, pp. 4–12. (In Russ.)

Kharakhinov V.V. (2019). Oil and gas geodynamics of the West Siberian sedimentary megabasin. *Oil and Gas Geology*, 2, pp. 5–21. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2019-2-5-21

Khisamutdinova A.I., Alekseeva P.A., Romanchuk A.F., Miroshnichenko D.E., Kerusov I.N., Bakulin A.A., Kucheryavenko D.S., Kiryanova T.N. (2021). Structure and reservoir prediction of the pre-Jurassic complex in one of the areas of the Elizarovsky depression of the Frolov megabasin based on 3D seismic data in the absence of well information. *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*, 6(4). (In Russ.) http://www.ngtp.ru/rub/2021/38_2021.html

Khisamutdinova A.I., Grinevsky A.S., Romanchuk A.F., Miroshnichenko D.E., Kaskov N.R., Shorokhova A.P., Bakulin A.A. (2024). Structure and prospects of the pre-Jurassic complex of the northern part of the Frolov megabasin (Elizarovsky depression) based on 3D seismic data. *Conference proceedings "Geosciences: modern challenges and solutions"*, St. Petersburg, pp. 301–305. (In Russ.)

Khromova I.Yu., Kunin K.N., Kashcheev D.E., Khromov E.V., Bakulin A.A. (2015). Creation of a productivity model of pre-Jurassic complex deposits at one of the fields in Western Siberia. *Russian SPE Technical Conference*. Moscow: SPE. (In Russ.)

Latyshev A., Panchenko I., Smirnova M., Kulikov P., Trushkova Y., Sapogova E., & Bakulin A. (2025). The Permian-Triassic volcanic activity in the West Siberian basin: A buried silicic LIP coeval to the Siberian Traps. *Gondwana Research*, 141, pp. 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2025.02.019>

Medvedeva T.Yu., Tsybalyuk Yu.A. (2016). Creation of geological and geophysical models of the Jurassic basement of Western Siberia for identifying new oil and gas prospective areas based on innovative technologies for processing and interpretation of geological and geophysical data. Geological report under State Contract. Tyumen: ZapSibNII. (In Russ.)

Rostovtseva Yu.V., Nemova V.D., Nemchenko N.V., Tomasenko S.V., Pustynnikova V.V. (2025). Petrogenetic typification of acidic volcanics of the roof of the oil-bearing pre-Jurassic complex of a field in the Elizarovsky depression of the West Siberian Plate. *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES4013. (In Russ.) DOI: 10.2205/2025es001042

Shadrina S.V. (2009). On the question of the geodynamic setting of magmatite formation in the Rogozhnikov LU based on new geochemical data. *Ways to realize the oil and gas and mineral potential of HMAO – Yugra. XII scientific-practical conference*. Khanty-Mansiysk, pp. 219–223. (In Russ.)

Shadrina S.V., Kritskiy I.L. (2012). Reservoir formation in volcanogenic rocks under the influence of hydrothermal solutions. *Oil Industry*, 8, pp. 18–21. (In Russ.)

Shadrina S.V. (2018). Composition, structure, age of rocks of the pre-Jurassic basement of the northeastern margin of the Krasnoleninsky arch. *Oil and Gas Geology*, 4, pp. 27–33. (In Russ.)

Shmakov V.D., Kaskov N.R., Bakulin A.A., Shorokhova A.P. (2023). Geological structure and reservoir productivity of Pre-Jurassic basement rocks of the Sredne-Nazymskoye oil field (Western Siberia): new data. *Georesursy = Georesources*, 25(3), pp. 111–118. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.14>

Smirnova M.E., Panchenko I.V., Kulikov P.Y., Latyshev A.V., Tokmakova A.I., Trushkova Yu. I., Sapogova E.E., Bakulin A.A., Shmakov V.D. (2024). Structure, petrotypes and reservoir properties of altered Permian-Triassic rhyodacites in the grabens of the Frolov megabasin of Western Siberia. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2, pp. 245–276. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0024497X24020065

Stoupakova A.V., Sokolov A.V., Soboleva E.V., Kiryukhina T.A., Kurasov I.A., Bordyug E.V. (2015). Geological survey and petroleum potential of Paleozoic deposits in the Western Siberia. *Georesursy = Georesources*, 2(61), pp. 63–76. <http://dx.doi.org/10.18599/grs.61.2.6>

About the Authors

Aysylu I. Khisamutdinova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Geologist at the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Aysylu.Khisamutdinova@lukoil.com

Anton S. Grinevskiy – Cand. Sci. (Engineering Sciences), Senior Geophysicist at the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Anton.Grinevskiy@lukoil.com

Dmitry E. Miroshnichenko – Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Head of the Expertise, Development, and Implementation of Methodological Solutions Department at the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Dmitry.Miroshnichenko@lukoil.com

Aigul F. Romanchuk – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Geophysicist at the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Aigul.Romanchuk@lukoil.com

Alexey A. Barantsev – Senior Geophysicist at the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Alexey.Barantsev@lukoil.com

Roman Yu. Boyarkin – Chief Specialist at the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Roman.Boyarkin@lukoil.com

Tatyana N. Kiryanova – Head of the Seismic Research Department for Methodology, Priority, and Offshore Projects, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Tatyana.Kiryanova@lukoil.com

Alexey A. Bakulin – Project Manager of the Tight Oil Reserves Development and Implementation Center, Moscow Office of LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russian Federation

e-mail: Alexey.Bakulin@lukoil.com

Manuscript received 15 July 2026;

Accepted 4 September 2026;

Published 30 September 2026

© 2026 The Authors. This article is published in open access under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)