

Использование сейсмической инверсии для прогноза коллектора в интервале прибрежно-континентальных отложений юрского комплекса

М.Ю. Шаповалов^{1*}, И.М. Хамитуллин¹, Р.Р. Шакиров¹, К.Е. Филиппова², А.А. Брегида³

¹ООО «НОВАТЭК НТЦ», Тюмень, Россия

²ПАО «НОВАТЭК», Москва, Россия

³ООО «НОВАТЭК – ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ», Новый Уренгой, Россия

В интервале прибрежно-континентальных отложений юрского комплекса одного из месторождений севера Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции выполнена современная сейсмическая интерпретация, в том числе с применением синхронной стохастической инверсии сейсмических данных. Основным объектом исследования являлся интервал группы пластов Ю₂. В рамках работы выполнено петроупругое моделирование с использованием данных геофизических исследований по 6 скважинам. На основании моделирования дано заключение о принципиальной возможности прогнозирования литологии методом решения обратной задачи сейсморазведки, определена оптимальная параметризация упругих свойств для отделения водонасыщенных и газонасыщенных коллекторов от глинистых отложений. Комплексная интерпретация скважинных и сейсмических данных, а также результатов стохастической инверсии позволила выделить перспективные зоны аккумуляции углеводородов в целевом интервале. Анализ вероятностных атрибутов – кубов частоты встречаемости газонасыщенных коллекторов – позволил закартировать линзовидное строение пластов и обосновать гидродинамические барьеры между отдельными залежами газа.

Ключевые слова: сейсморазведка, стохастическая инверсия, юрские отложения, прибрежно-континентальные отложения, AVO-анализ

Для цитирования: Шаповалов М.Ю., Хамитуллин И.М., Шакиров Р.Р., Филиппова К.Е., Брегида А.А. (2023). Использование сейсмической инверсии для прогноза коллектора в интервале прибрежно-континентальных отложений юрского комплекса. *Георесурсы*, 25(3), с. 49–56. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.7>

Введение

Среди всех геофизических методов поиска залежей нефти и газа, к которым можно отнести гравиметрию, электро- и магниторазведку, наиболее информативной остается сейсморазведка. Причиной этому, в первую очередь, служит сама физика метода. Залежи жидких и особенно газообразных углеводородов существенно изменяют скорость распространения акустических волн в среде и плотность породы, что приводит к формированию аномалий в волновом поле.

Решение обратной динамической задачи сейсморазведки, более известное как сейсмическая инверсия, позволяет по наблюдаемому волновому полю восстановить упругие свойства среды. Стохастическая инверсия позволяет получить трехмерный прогноз, увязанный и со скважинными, и с сейсмическими данными, что является её преимуществом по сравнению с классическим регрессионным динамическим анализом и детерминистической инверсией (Яковлев и др., 2011; Naas, Dubrule, 1994).

Целью данной работы является получение трехмерной модели литологии и распределения коллектора,

юрского комплекса одного из месторождений севера Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) с использованием синхронной стохастической инверсии сейсмических данных. Осложняется достижение цели тем, что пласты имеют прибрежно-континентальный генезис. Как известно, в таких условиях формируются породы, имеющие высокую латеральную изменчивость. Редкая сеть скважин глубокого бурения не позволяет в полной мере описать эту изменчивость в межскважинном пространстве.

Исследование можно разделить на два этапа. Первый этап состоит из оценки возможности прогноза литологии на основе геофизических данных, включая петроупругое моделирование, обоснование различных литотипов в полях упругих параметров и выбор параметризации для прогноза. Второй этап – это прогнозирование геологического разреза.

Материалы и методы

Объектом исследования являются юрские пласты одного из месторождений севера Западно-Сибирской НГП. Глубина залегания целевого интервала – порядка 4 километров. Рассматриваемый объект имеет малую

* Ответственный автор: Михаил Юрьевич Шаповалов
e-mail: Mikhail.Shapovalov@novatek.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Материалы настоящей статьи были представлены в виде доклада на конференции «Перспективы нефтегазоносности ачимовского и юрского комплексов севера Западно-Сибирской НГП» в г. Тюмень, 23–24 мая 2023 г.

изученность данными глубокого бурения – имеется 6 скважин с необходимым комплексом исследований, при этом площадь исследования составляет порядка 500 кв. км. На этапе контроля качества также были привлечены результаты интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) по 4 эксплуатационным скважинам (эффективные и газонасыщенные толщины коллектора).

Для выполнения инверсионных преобразований используются методы ГИС, которые дают информацию об упругих свойствах среды: широкополосный акустический каротаж (АКШ), дающий информацию о скорости распространения продольной и поперечной упругих волн, и плотностной гамма-гамма каротаж (ГГКп), позволяющий определить плотность пород. Помимо специальных методов, для петрофизической интерпретации был использован стандартный комплекс ГИС, включающий методы сопротивления, спонтанной поляризации, радиоактивные методы и керновые данные (макроописание, рентгено-структурный анализ).

Сейсмической основой исследований послужил объединенный трехмерный куб, составленный из отдельных съемок, выполненных методом отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ ОГТ 3D). Тип источника возбуждения колебаний – вибрационный. Высокая кратность наблюдений (406) и большое максимальное расстояние «пункт возбуждения – пункт приема» позволило сформировать 7 частично-кратных сумм в диапазоне удалений: 150–1150 м, 1000–1950 м, 1850–2750 м, 2600–3550 м, 3400–4350 м, 4200–5150 м, 5000–6000 м с кратностью от 18 до 21. На уровне целевого интервала соответствующие угловые диапазоны для данных удалений будут следующими: 0°–7°, 6°–13°, 12°–17°, 16°–22°, 22°–26°, 26°–29°, 29°–31°.

Такой набор входных данных позволил использовать современную модификацию алгоритма решения обратной задачи – синхронную стохастическую инверсию.

Стохастическая инверсия может выполняться как по суммарным, так и по частично-кратным суммам во временной и в глубинной области. Получаемые результаты сопоставимы с разрешенностью каротажных кривых ГИС – кубы упругих параметров, пористости, литологии, вероятностные кубы каждого литотипа. Имеется множество решений, которое позволяет снизить

неопределенности при изучении месторождения и, что немаловажно, все решения согласуются с сейсмическими и скважинными данными. Результаты стохастической инверсии помогают построить более детальную и согласованную с имеющейся геолого-геофизической информацией модель целевого пласта (Шаповалов, Осипова, 2014).

Основные преимущества стохастической инверсии перед детерминистической состоят в следующем:

- Сокращение неопределенности за счёт использования большего объёма информации;
- Возможность использования геологических ограничений (характер напластования внутри слоя, параметры вариограмм, исходя из геологической модели объектов, использование информации о флюидальных контактах, использование пропорций распределения литотипов внутри слоя);
- Возможность количественной оценки неопределённости из множества решений;
- Высокая детальность результата, сопоставимая с каротажными данными;
- Абсолютная согласованность решений со скважинными данными.

К недостаткам метода можно отнести:

- Существенное увеличение времени подготовки данных и непосредственного машинного времени на расчёты;
- Отсутствие детерминированного результата. На выходе алгоритма появляется множество отличающихся друг от друга, но равновероятных с точки зрения сейсмического отклика результатов;
- Высокая вертикальная разрешенность (выше сейсмической разрешенности) конечного результата в межскважинном пространстве имеет статистическую (вероятностную) природу, что должно быть учтено при интерпретации и геологическом моделировании.

Важным этапом подготовки данных к стохастической инверсии является определение количества литотипов для моделирования. Главный принцип их определения – это уверенное разделение в поле упругих параметров (Р-импеданс, S-импеданс, V_p/V_s , плотность) и количественная репрезентативность.

В результате анализа распределения литотипов по упругим параметрам было получено обоснование возможности разделения литологии на основе сейсмической

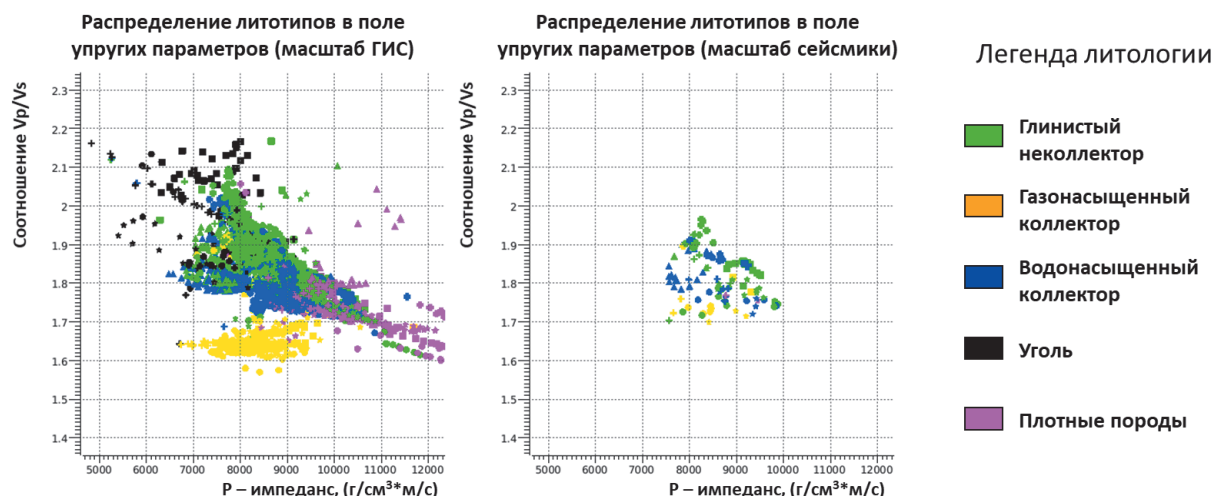


Рис. 1. Определение количества литотипов для целей прогноза

инверсии. Финальный набор литотипов выглядит следующим образом: газонасыщенный песчаник, водонасыщенный песчаник, плотные породы, уголь, глина (рис. 1).

Из представленного рисунка можно сделать несколько выводов.

- Разделение газонасыщенных коллекторов и остальных литотипов максимально. Наилучшей параметризацией для выполнения инверсии является поле Р-импеданс – соотношение скоростей продольных и поперечных волн.
- Водонасыщенный коллектор имеет существенную область перекрытия с глинистым неколлектором. Возможно уверенное выделение только чистых литотипов.
- Прогноз эффективных толщин будет иметь меньшую достоверность по сравнению с прогнозом газонасыщенных толщин.

Процесс стохастической инверсии представлен в виде упрощённой блок-схемы (рис. 2). Все реализации, полученные в процессе стохастических расчётов, должны согласовываться с сейсмическими данными. Основным принцип заключается в том, что синтетическое волновое поле, получаемое в результате свёртки сигнала с моделью упругих свойств, должно соответствовать реальному волновому полю. Уровень сейсмического шума определяет, насколько хорошо синтетические трассы должны сопоставляться с реальными сейсмическими трассами.

Из семи перечисленных в начале статьи частично-кратных сумм в расчет инверсии пошли первые пять в диапазоне удалений от 150 до 4350 метров. Последние две суммы исключались из расчета по причине формирования критических отражений и аномального поведения амплитуд.

Для создания вертикальных вариограмм использовались скважинные данные, а для создания горизонтальных вариограмм – сейсмические, в данном случае результаты атрибутного анализа.

Итоговые параметры вариограмм приведены в табл. 1.

Оптимизация всех параметров инверсии – параметры вариограмм, сейсмический шум для каждой

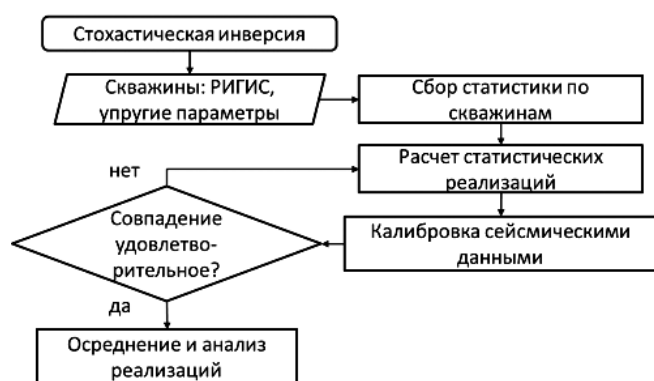


Рис. 2. Упрощённая блок-схема стохастической инверсии

Наименование литотипа	Радиус вариограммы	
	Вертикальный	Горизонтальный
Глинистый неколлектор	4 мс / 2000 м	
Плотные породы	0,5 мс / 500 м	
Уголь	0,5 мс / 500 м	
Водонасыщенный коллектор	2 мс / 1000 м	
Газонасыщенный коллектор	2 мс / 1000 м	

Табл. 1. Параметры вариограмм для каждого литотипа

Диапазон удалений, м	Соотношение сигнал/шум, Дб	Коэффициент корреляции сейсмика / синтетика
150–1150	11	0,97
1000–1950	19	0,99
1850–2750	18	0,99
2600–3550	17	0,98
3400–4350	18	0,99

Табл. 2. Оценки сходимости синтетического и реального волнового полей для каждой частично-кратной суммы

частично-кратной суммы – проводилась путем визуального сопоставления разрезов литотипов, полученных в результате тестовых просчётов реализаций без включения скважин в решение с фактической кривой литологии по данным ГИС в точке каждой скважины.

Для контроля качества было оценено схождение синтетического и реального волнового полей для каждой частично-кратной суммы. Средние оценки сходимости приведены в табл. 2.

Результаты стохастической инверсии

Результатом стохастической инверсии являются множественные равновероятные высокоразрешённые реализации кубов литотипов и упругих свойств. Каждая реализация уникальна и является описанием строения месторождения. Количественная оценка коллекторского потенциала месторождения может выполняться как по одной реализации, так и по множеству на основе вероятностной оценки.

Для контроля точности восстановления литологии было рассчитано 50 реализаций с частичным исключением скважин из решения, что позволяет объективно оценить прогностическую способность метода стохастической инверсии. Скважинами исключениями являлись 4 эксплуатационные скважины в которых не было АКШ и ГГКп, но при этом имелись результаты интерпретации ГИС в виде данных по эффективным и газонасыщенным толщинам коллектора. Прогнозные карты эффективных и газонасыщенных толщин во временном масштабе рассчитывались по кубам наиболее вероятного литотипа по результатам осреднения всех реализаций по формуле:

$$H = \sum_1^n I * H_i,$$

где I – ячейка, имеющая значение искомого литотипа: Res для расчёта эффективных толщин, Sand_Gas для расчета газонасыщенных толщин; H_i – вертикальный размер ячейки модели, равный 0,5 мс для интервала целевых пластов.

Результаты сопоставления прогноз-факт по слепым скважинам приведены на кроссплоте (рис. 3). Из рисунка можно сделать вывод, подтверждающий наблюдения из разделения литотипов в полях упругих параметров. Газонасыщенные толщины коллектора прогнозируются более достоверно, чем эффективные. При этом для эффективных толщин тренд фактических и прогнозных значений совпадает, несмотря на большую дисперсию данных (стандартное отклонение ошибки прогноза по слепым скважинам для эффективных толщин – 6,1 м, для газонасыщенных толщин – 1,1 м).

На рисунке 4 приведен пример волнового поля для целевого интервала и разрез частоты встречаемости коллектора. Сопоставление этих двух разрезов наглядно

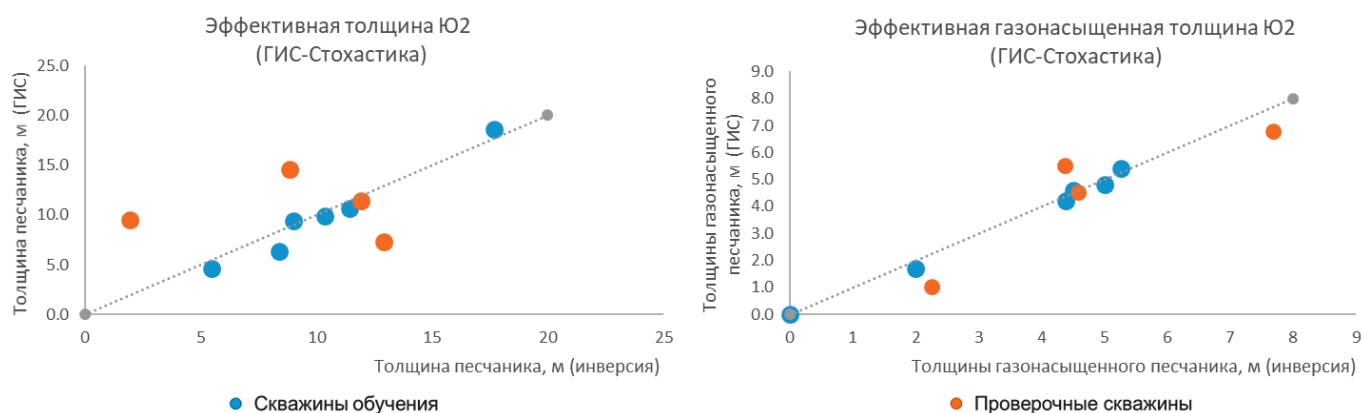


Рис. 3. Кроссплоты прогноз-факт для эффективных и газонасыщенных толщин пласта Ю₂

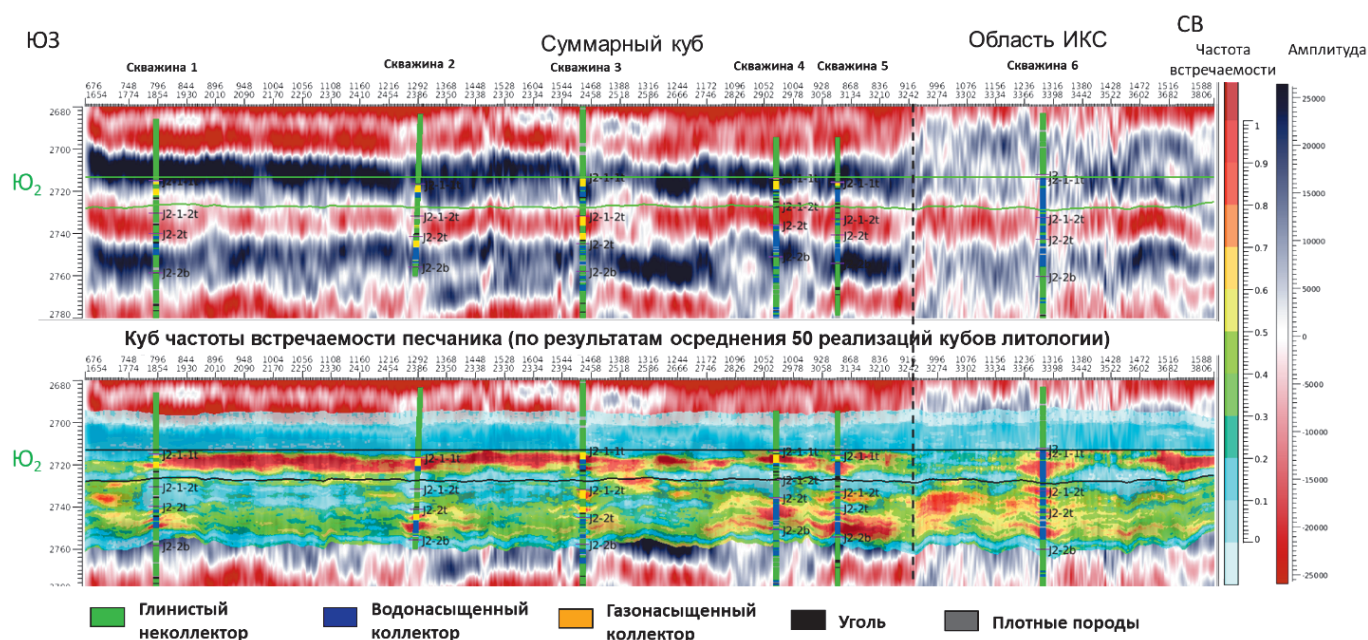


Рис. 4. Сопоставление сейсмической волновой картины и куба частоты встречаемости коллектора по инверсии

демонстрирует проявление зон улучшенных коллекторов на сеймике.

Первое, что необходимо отметить на рис. 4, это область инверсионной кольцевой структуры (ИКС) в северо-восточной части разреза, связанную с зоной влияния вышезалегающих газовых залежей (Бородкин и др., 2017). Здесь волновая картина существенно отличается от остальной части площади, оси синфазности искажаются и прослеживаемость их ухудшается, а частотный диапазон сейсмической записи сокращается. Все эти факторы приводят к ухудшению достоверности прогноза инверсии в данной зоне. В конечном результате информация в данной области была признана некондиционной для целевого интервала.

Временная толщина исследуемого интервала составляет около 10–12 миллисекунд. Области развития коллектора целевого пласта Ю₂ по сейсмическому прогнозу и по скважинам соответствуют друг другу.

При этом куб частоты встречаемости газонасыщенного коллектора является более информативным с точки зрения залежи и позволяет исследовать даже внутреннее строение коллектора. Так в центральной части площади, вблизи скважины №3 видны разделенные линзы, наложенные одна на другую по вертикали (рис. 5).

Использование динамического анализа или детерминистической инверсии не позволяло ранее обнаружить такую особенность строения пласта Ю₂, т.к. в горизонтальной проекции отдельные гидродинамически изолированные линзы перекрываются, и граница разделения отдельных залежей на суммарной карте толщин не прослеживается (рис. 6).

Верификация прогноза с помощью AVO-анализа

На прогнозной карте газонасыщенных толщин целевого пласта максимальные значения параметра наблюдаются в северо-западной части площади. Эта область не охарактеризована данными бурения, однако перспективность её крайне высока. Для дополнительной верификации природы выделенной по результатам стохастической инверсии сейсмических данных аномалии проведен дополнительный AVO-анализ.

Согласно классификации Резерфорда и Уильямса (Rutherford, Williams, 1989), пласт Ю₂ относится к 3 классу AVO объектов – акустически мягкие газонасыщенные коллектора. Для таких коллекторов характерно проявление AVO эффекта в виде отрицательного коэффициента

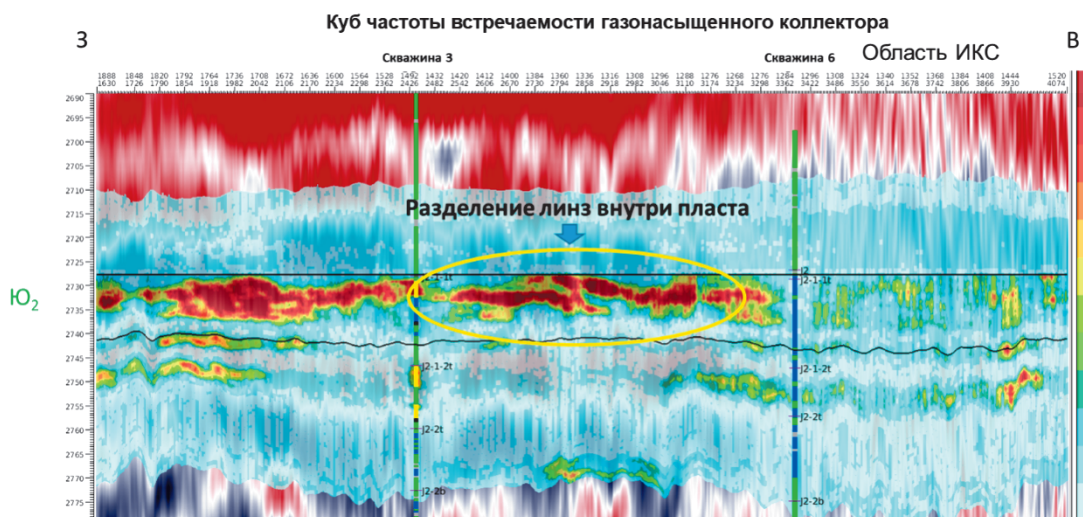


Рис. 5. Разрез куба частоты встречаемости газонасыщенного коллектора по инверсии

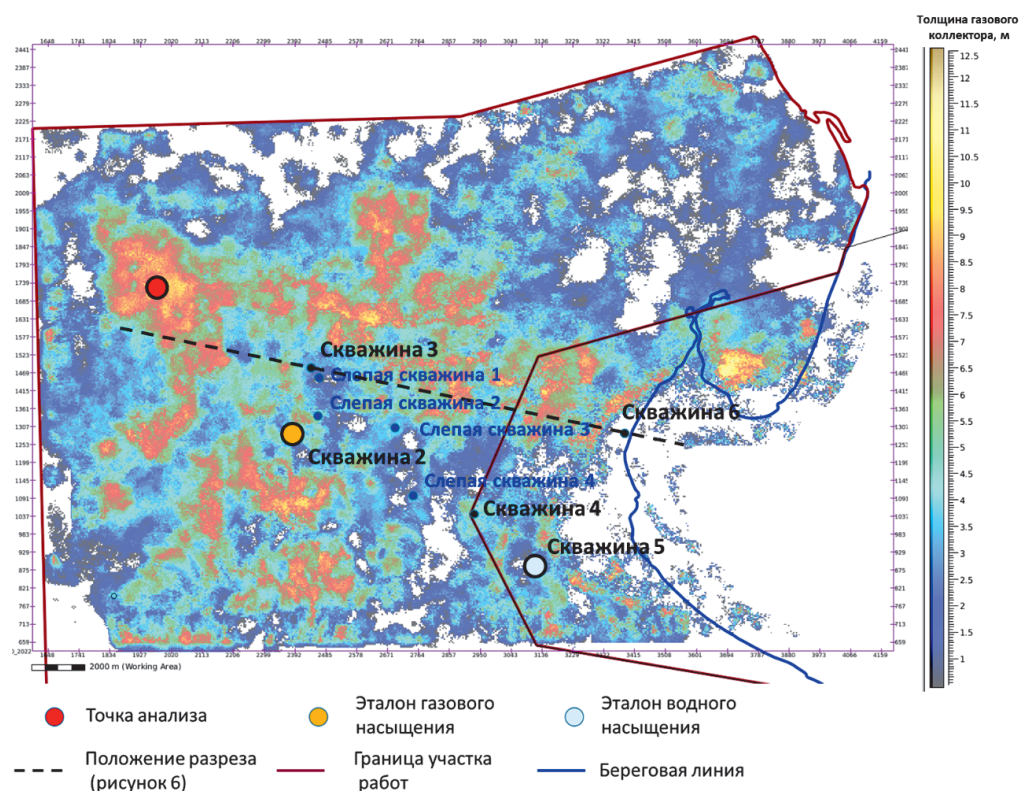


Рис. 6. Прогнозная карта толщин газонасыщенного коллектора для пласта Ю₂ с положением линии разреза и точками АВО анализа

отражения с большим градиентом (увеличение амплитуды отражения с удалением). Для аналогичных коллекторов с водным насыщением характерно уменьшение или сохранение амплитуды с удалением, т.е. низкий градиент. Проведение дальнейших исследований было основано на этой закономерности.

Из имеющегося массива скважинных данных были выбраны эталонные скважины для водяного и газового насыщения пласта. Так, в скважине 5 по результатам интерпретации ГИС была выделена максимальная толщина водонасыщенного коллектора, а в скважине 2 – максимальная толщина газонасыщенного коллектора. В этих точках были извлечены сейсмограммы, и сняты параметры изменения амплитуд с удалением (рис. 7). Попарное сопоставление точки анализа на северо-западе с каждой из них показывает, к какому типу флюида ближе

поведение сейсмограммы в неразбуренной перспективной зоне (рис. 8).

В скважине 5 изменение амплитуды отражения от кровли Ю₂ с удалением минимально, т.е. градиент АВО минимальный, что соответствует теоретическому поведению отражений от водонасыщенных коллекторов.

В скважине 2 изменение амплитуды отражения от кровли Ю₂ с удалением значительное, т.е. градиент АВО максимальный, что соответствует теоретическому поведению отражений от газонасыщенных коллекторов.

Кроме того, на ближних удалениях присутствует искажение, связанное с влиянием поверхностной волны. Эта область не участвовала в анализе.

Изменение амплитуды отражения от кровли Ю₂ с удалением в контрольной точке на северо-западе сопоставимо с аналогичным параметром в скважине 2, т.е. градиент

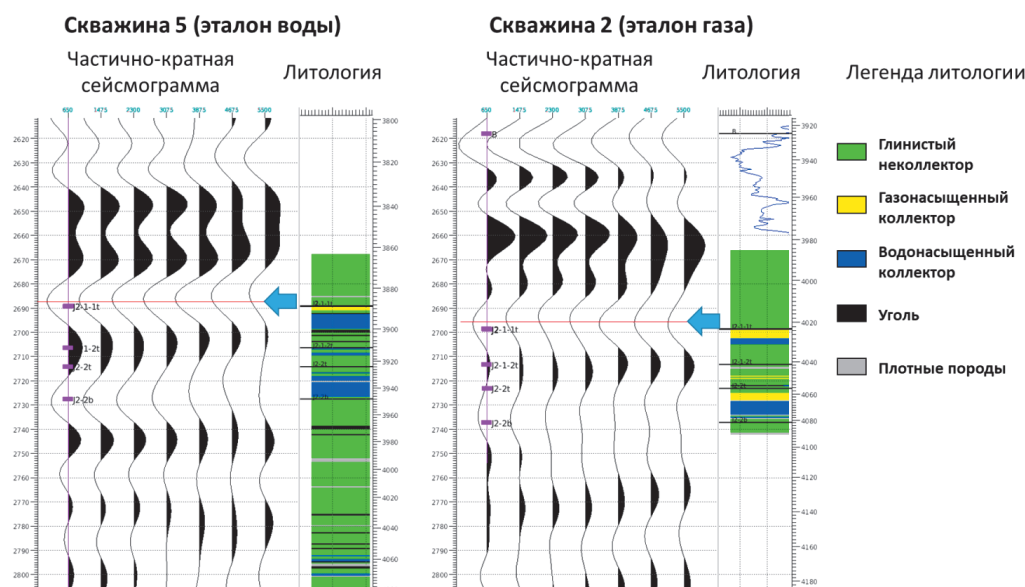


Рис. 7. Частично суммированные сейсмограммы в эталонных точках воды (скв. 5) и газа (скв. 2) и соответствующая литология

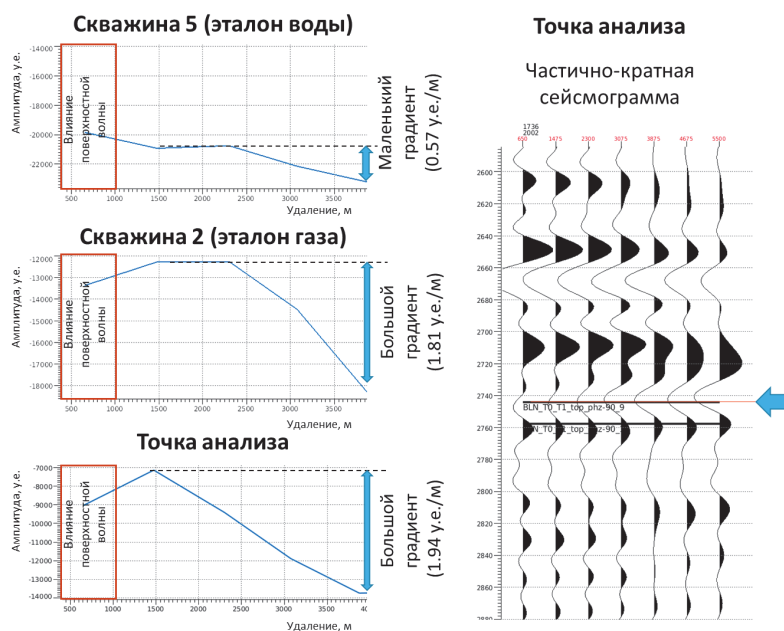


Рис. 8. Сопоставление AVO откликов от эталонных точек с сейсмограммой и AVO откликом в точке максимальных газонасыщенных толщин

AVO большой, что соответствует теоретическому поведению отражений от газонасыщенных коллекторов.

Таким образом, AVO-анализ показал, что область максимальных газонасыщенных толщин по результатам стохастической инверсии согласуется с теоретическим поведением амплитуд для газовых залежей.

Заключение

Статья посвящена использованию сейсмической инверсии для прогноза коллектора в интервале прибрежно-континентальных отложений юрского комплекса. Результаты, полученные в рамках настоящей работы, убедительно показывают принципиальную возможность прогноза как областей развития газонасыщенных коллекторов в целевом интервале, так и перспективы по уточнению внутреннего строения пластов, формировавшихся в прибрежно-континентальных условиях осадконакопления,

выделению изолированных линз и гидродинамических барьеров.

Для успешного прогноза с использованием технологии стохастической инверсии необходимо соблюдение следующих условий:

1. Наличие керновых исследований по литологии, фильтрационно-емкостным и упругим свойствам пород, слагающих целевой интервал;
2. Наличие качественных данных ГИС (АКШ, ГГКп, набор стандартных каротажей) в целевом интервале, а также выше и ниже объекта исследования на достаточную для сейсмостратиграфической привязки и свертки импульса высоту;
3. Петрофизические предпосылки в виде разделения желаемых к прогнозу литотипов в полях упругих параметров (P -импеданс, S -импеданс, плотность, соотношение V_p/V_s);

4. Наличие высококачественной современной сейсмической съемки, обработанной с сохранением истинного соотношения амплитуд как по вертикали, так и с удалением.

В результате сейсмического прогноза были получены трёхмерные кубы вероятности наличия литотипов «коллектор» и «газонасыщенный коллектор». Для подтверждения прогнозов выполнен ретроспективный анализ методом «слепой скважины» с исключением более 30% фонда бурения, а также AVO-анализ сейсмограмм.

Благодарности

Авторы выражают большую благодарность руководству ООО «НОВАТЭК – ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» в лице заместителя генерального директора – главного геолога Васильева С.В. за предоставленные материалы и содействие в подготовке настоящей публикации.

Литература

Бородкин В.Н., Курчиков А.Р., Недосекин А.С., Лукашов А.В., Смирнов О.А. (2017). Характеристика геологической природы инверсионных кольцевых структур в пределах арктических районов Западной Сибири как критерия нефтегазоносности. *Геология нефти и газа*, (3), с. 69–76.

Шаповалов М.Ю., Осипова М.В. (2014). Создание геологической модели пласта ВЧ Верхнеконского месторождения на основе стохастической инверсии. *6-я Междунар. геолого-геофиз. конф.-выст.: Санкт-Петербург 2014. Геонауки – инвестиции в будущее*. Санкт-Петербург: EAGE.

Яковлев И.В., Ампилов Ю.П., Филиппова К.Е. (2011). Почти всё о сейсмической инверсии. *Технологии сейсморазведки*, (1), с. 5–15.

Haas A., Dubrule O. (1994). Geostatistical inversion – a sequential method of stochastic reservoir modeling constrained by seismic data. *First Break*, 12(11), pp. 561–569.

Rutherford S.R., Williams R.H. (1989). Amplitude-versus-offset variations in gas sands. *Geophysics*, 54(6), pp. 680–688.

Сведения об авторах

М.Ю. Шаповалов – кандидат геол.-минерал. наук, старший эксперт, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

e-mail: Mikhail.Shapovalov@novatek.ru

И.М. Хамитуллин – главный технолог проекта управления подготовки ресурсной базы, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

Р.Р. Шакиров – директор департамента подготовки ресурсной базы, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

К.Е. Филиппова – эксперт департамента геологоразведочных работ, ПАО «НОВАТЭК»

Россия, 119415, Москва, Ленинский проспект, д. 90/2

А.А. Брегиды – заместитель главного геолога, ООО «НОВАТЭК – ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ»

Россия, 629309, Новый Уренгой, Славянский микрорайон, д. 9

Статья поступила в редакцию 20.07.2023;

Принята к публикации 06.09.2023;

Опубликована 30.09.2023

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Reservoir characterization in coastal-continental environment of the Jurassic complex based on seismic data inversion

M.Yu. Shapovalov^{1*}, I.M. Khamitullin¹, R.R. Shakirov¹, K.E. Filippova², A.A. Bregida³

¹NOVATEK Scientific and Technical Center, Tyumen, Russian Federation

²NOVATEK, Moscow, Russian Federation

³NOVATEK – YURKHAROVNEFTEGAZ, Noviy Urengoy, Russian Federation

*Corresponding author: Mikhail Yu. Shapovalov, e-mail: Mikhail.Shapovalov@novatek.ru

Abstract. A modern seismic interpretation of coastal-continental deposits in the Jurassic complex of one of the fields in the north of the West Siberian Oil and Gas Province, including simultaneous stochastic inversion of seismic data was performed. The main object of the study was the interval of the group of J2 reservoirs. Petro-elastic modeling was carried out on the project. Modelling includes six wells with geophysical well logs. Feasibility study shows possibility of predicting lithology by stochastic inversion. In addition, optimal parametrization of elastic properties was determined to separate water-saturated and gas-saturated reservoirs from clay deposits. Interpretation of well and seismic data, as well as the results of stochastic inversion, made it possible to identify play zones in target interval. Probability cubes of gas-saturated reservoirs, made it possible to map the lenticular structure of the reservoirs and substantiate hydrodynamic barriers between individual gas plays.

Keywords: seismic data, stochastic inversion, Jurassic, coastal-continental deposits. AVO – analysis

Recommended citation: Shapovalov M.Yu., Khamitullin I.M., Shakirov R.R., Filippova K.E., Bregida A.A. (2023). Reservoir characterization in coastal-continental environment of the Jurassic complex based on seismic data inversion. *Georesursy = Georesources*, 25(3), pp. 49–56. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.7>

References

Borodkin V.N., Kurchikov A.R., Nedosekin A.S., Lukashov A.V., Smirnov O.A. (2017). Characteristics of the geological nature of inversion ring structures within the Arctic regions of Western Siberia as a criterion for oil and gas potential. *Geologiya nefi i gaza = Russian oil and gas geology*, (3), pp. 69–76. (In Russ.)

Haas A., Dubrule O. (1994). Geostatistical inversion – a sequential method of stochastic reservoir modeling constrained by seismic data. *First Break*, 12(11), pp. 561–569.

Rutherford S.R., Williams R.H. (1989). Amplitude-versus-offset variations in gas sands. *Geophysics*, 54(6), pp. 680–688.

Shapovalov M.Yu., Osipova M.V. (2014). Creation of a geological model of the VCh formation of the Verkhnechonskoye field based on stochastic inversion. *Conf.-exhibition: St. Petersburg 2014. Geosciences – investments in the future*. St. Petersburg: EAGE. (In Russ.)

Yakovlev I.V., Ampilov Yu.P., Filippova K.E. (2011). Almost everything about seismic inversion. *Tekhnologii seismorazvedki = Seismic technologies*, (1), pp. 5–15. (In Russ.)

About the Authors

M.Yu. Shapovalov – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Expert, NOVATEK Scientific and Technical Center
53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation
e-mail: Mikhail.Shapovalov@novatek.ru

I.M. Khamitullin – Chief Technologist of the Project Resource Base Department, NOVATEK Scientific and Technical Center
53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

R.R. Shakirov – Director of the Project Resource Base Department, NOVATEK Scientific and Technical Center
53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

K.E. Filippova – Expert of the Geological Exploration Department, NOVATEK
90/2, Leninsky ave., Moscow, 119415, Russian Federation

A.A. Bregida – Deputy Chief Geologist, NOVATEK – YuRKhAROVNEFTEGAZ
9, Slavyansky microraion, Novy Urengoy, 629309, Russian Federation

*Manuscript received 20 July 2023;
Accepted 6 September 2023; Published 30 September 2023*