

EARTH SCIENCES

FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE HORIZON U2 OF WESTERN SIBERIA BASED ON SEISMIC DATA ANALYSIS

Bembel S.

*Doctor of Geological and Mineralogical Sciences
Tyumen Industrial University, Tyumen*

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ГОРИЗОНТА Ю2 ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Бембель С.Р.

*Доктор геолого-минералогических наук
профессор Тюменского индустриального университета, г. Тюмень*

Abstract

The details of mapping of the geological features of oil deposits associated with the U2 reservoir of the Middle Jurassic complex of Western Siberia are the subject of this paper. A set of the most informative seismic attributes for identifying areas of increased productivity of wells and predicting effective thicknesses of U2 object is proposed based on the results of combining the materials of dynamic and seismic facies analysis of 3D seismic data, well testing, well logging and core description. One of the most promising zones of the U2 stratum is buried paleochannels, mapping of which is reliably implemented using the spectral decomposition method.

Аннотация

Рассмотрены особенности картирования геологических особенностей залежей нефти, связанных с продуктивным пластом Ю2 среднеюрского комплекса Западной Сибири. По результатам комплексирования материалов динамического и сейсмофациального анализа данных 3D сейсморазведки, опробования скважин, ГИС и описания керна предложен набор наиболее информативных сейсмических атрибутов для выделения участков повышенной продуктивности скважин и прогноза эффективных толщин объекта Ю2. Одними из наиболее перспективных зон пласта Ю2 являются погребенные палеоруслу, картирование которых достаточно надежно реализовано с помощью метода спектральной декомпозиции.

Keywords: oil and gas deposits, geological structure, U2 stratum, seismic exploration, seismic reflection horizon, seismic attributes, seismic facies, paleo-channel

Ключевые слова: залежи нефти и газа, геологическое строение, пласт Ю2, сейсморазведочные работы, отражающий горизонт, сейсмические атрибуты, сеймофации, палеоруслу

Актуальной проблемой в нефтегазовой отрасли в Западной Сибири является уточнение геологического строения, геометрии продуктивных участков и вовлечение в активную разработку нефтяных залежей, приуроченных к сложно построенным и низкопроницаемым коллекторам юрского комплекса. Одним из наиболее эффективных методов доразведки и исследования в этом направлении и реализации поставленных задач является применение детального анализа материалов 3D сейсморазведки в комплексе с промыслово-геофизическими исследованиями.

Геологический разрез Западно-Сибирской плиты подразделяется на три комплекса пород: палеозойский консолидированный фундамент, триасовый параплатформенный вулканогенно-осадочный комплекс и мезозойско-кайнозойский осадочный чехол.

Характеристика объекта исследования.

Участок работ расположен в пределах Сургутского нефтегазоносного района Среднеобской нефтегазоносной области. Площадь работ находится в непосредственной близости от таких месторождений как Вачимское, Солкинское, Сайгатинское и

Юнлорское. Месторождения многопластовые, промышленная нефтегазоносность отложений установлена в широком стратиграфическом диапазоне от среднеюрских до барремских включительно.

По доюрским отложениям район работ относится к Фроловскому району Обь-Тазовской фациальной области. На породах промежуточного этажа с угловым и стратиграфическим несогласием залегают юрские отложения, представленные чередованием песчаников, алевролитов, глин и углей. В Сургутском районе нижнеюрские отложения выделены в горелую свиту. Формирование вмещающих отложений происходило в мелководной части шельфа и прибрежной зоне.

Среднеюрские отложения выделяются в тюменскую свиту (аален, J_{2a} - байос, J_{2b} - бат, J_{2bt}). Литологически свита разделяется на три подсвиты: толькинская, которая характеризуется частым переслаиванием песчаников и алевролитов (группа пластов Ю7-9); сандибинская, с частым переслаиванием алевроито-глинистых отложений, с прослоями углей (пласты Ю5-6); надымская, сложенная неравномерным переслаиванием глин серых, биотурбированных с глинистыми песчаниками и алевролитами (группа пластов Ю2, Ю3-4).

Кровельная часть надымской подсвиты - пласт Ю2 - является регионально нефтеносным и основным перспективным объектом средней юры в пределах Сургутского свода. Региональная нефтеносность пласта Ю2 связана с его исключительно сложным геологическим строением, обусловленным сочетанием структурных, литологических и тектонических факторов, которые привели к образованию специфического коллектора, способного аккумулировать и сохранять залежи нефти практически в любых структурных условиях.

Пласт Ю2 характеризуется весьма сложным, трудно прогнозируемым распространением песчаных тел. Фильтрационно-емкостные показатели по данным исследований керна из интервала пласта Ю2, в основном, низкие: открытая пористость в среднем около 16 %, проницаемость - до $1-10 \cdot 10^{-3}$ мкм². В связи с этим насыщение коллекторов неравномерное, пятнистое и форма залежей контролируется не только структурным планом, но и особенностями пространственного размещения проницаемых и плотных пород. Эффективные нефтенасыщенные толщины пласта Ю2 изменяются в широком диапазоне - от 0,4 до 16 м. На участке выявлено несколько залежей нефти, преимущественно, низкодебитных до 10-15 м³/сут, в отдельных скважинах получены притоки нефти до 50 м³/сут.

В составе верхнеюрских отложений, представленных породами прибрежного и морского генезиса, выделяются васюганская, георгиевская и баженовская свиты.

Васюганская свита (келловей, J_{2k} - оксфорд, J_{3o}) представлена глинами и аргиллитами, преимущественно тонкоотмученными, с редкими прослоями алевролитов и песчаников; верхняя подсвита характеризуется переслаиванием песчано-алевритовых отложений. В разрезе выделяется пласт Ю1 прибрежно-морского генезиса.

Георгиевская свита (верхний оксфорд, J_{3o} - кимеридж, J_{3km}) характеризуется глинами аргиллитоподобными от темно-серых до черных, тонкоотмученными с неравномерным распределением глауконита.

Баженовская свита (титон, J_{3tt} - нижний берриас, K_{1b}) представлена аргиллитами битуминозными, черными, с коричневым оттенком, с прослоями листоватых разностей, радиоляритов, глинистых известняков.

Основной закономерностью морфологии и развития локальных структур в мезозойско-кайнозойскую эру в районах Широкого Приобья Западной Сибири является унаследованный характер развития структур преимущественно изометрических форм, иногда с активизацией в постсенноманское время и часто встречающееся асимметричное строение складок.

Результаты исследований и их обсуждение.

На площади работ выполнены 3D сейсморазведочные работы, по данным которых выделены юрский, нижнемеловой клиноформный, апт-альб-сенноманский и палеогеновый сейсмостратиграфические комплексы. Кроме материалов

сейсморазведочных работ для анализа и прогноза свойств пласта Ю2 использованы данные геофизических исследований скважин (ГИС) по 300 скважинам, данные опробования поисково-разведочных скважин и результаты работы эксплуатационных скважин.

Юрский сейсмостратиграфический комплекс заключен в интервале между отражающими горизонтами (ОГ) А и Б. Субпараллельные отражающие горизонты внутри комплекса прослеживаются с разной степенью интенсивности. Отражающий горизонт Б, стратифицированный с кровлей баженовской свиты, является динамически выдержанным и устойчивым, за исключением участков аномального строения отложений. Ниже ОГ Б прослеживаются отражающие горизонты группы Т, связанные с отложениями тюменской и горелой свит: ОГ Т - кровля тюменской свиты, батский ярус (пласт Ю2); ОГ Т1 - байосский ярус (пласт Ю5-6); ОГ Т2 - аален-батский ярус (пласт Ю7-8); ОГ Т3 - горелая свита, тоарский ярус.

Отражающий горизонт Т приурочен к кровле пласта Ю2. Амплитуда отражения варьируется по площади. Сейсмическое отражение сформировано пачкой пластов разного литологического состава. В скважинах тонкослоистая угленосная пачка, которая характеризуется пониженными скоростями и плотностями, залегает в непосредственной близости от кровли свиты. Скорости в песчано-алевролитовых разностях рассматриваемых пластов выше скоростей в перекрывающих их глинах. В результате вблизи кровли тюменской свиты формируется низкоамплитудное отражение отрицательной полярности, за ним следует многофазное колебание. Отражение Т многофазное, интерференционное, при этом литологический состав меняется по площади, корреляция пласта Ю2 не всегда надежна.

Выделение и трассирование тектонических нарушений. Наиболее ярко на временных разрезах представлены зоны нарушений, прослеживаемые через всю толщу юрских и доюрских отложений. Большая часть нарушений затухают в нижнемеловой части разреза. Характерными чертами разрывов являются отсутствие смещений осей синфазности и потеря динамической выразительности отражающих границ, отклонение от вертикали, усиливающееся вниз по разрезу, приуроченность разрывов к фронтальным поверхностям складок, сформированных по типу взбросо-надвигов.

Зоны нарушений интерпретируются как динамически напряженные зоны, сопровождающиеся дроблением и трещиноватостью горных пород. Приуроченность зон нарушений к присводовым частям положительных структурных форм позволяет отнести их к сопровождающим и определяющим генезис складкообразования. Ширина зон тектонических нарушений составляет 100-150 м. Трассирование тектонических нарушений выполнялось по временным разрезам с привлечением комплексного анализа тангенсов и азимутов углов наклона отражающих горизонтов, динамических атрибутов, характеризующих неоднородность волнового поля (когерентность, ant Tracking (Schlumberger)) и т.д.

Динамический анализ сейсмических атрибутов. В основе методики прогнозирования геологического разреза и его параметров по данным сейсморазведки лежат эмпирические зависимости между фильтрационно-емкостными свойствами, эффективной мощностью коллекторов, определенными по данным ГИС с одной стороны, и их упругими свойствами с другой. С целью прогнозирования коллекторских свойств основных продуктивных пластов был проведен динамический анализ атрибутов сейсмической записи по ОГ Т (кровля пласта Ю2).

Анализ динамических атрибутов выполнен на качественном уровне, а также с применением количественных оценок на основе статистической обработки сейсмических атрибутов и геолого-промысловых параметров пластов. Наиболее информативными атрибутами сейсмической записи оказались производные амплитуд - среднеквадратичная амплитуда в окне исследования ОГ Т, мгновенная амплитуда, псевдоакустический импеданс, sweetness (перспективность), мгновенная фаза. Значительный вклад в анализ распределения фильтрационно-емкостных свойств (ФЭС) в исследуемых интервалах по площади работ внес акустический импеданс.

Одними из наиболее перспективных зон пласта Ю2 являются погребенные палеоруслы. Первоначальным этапом атрибутного анализа отражающих горизонтов является построение стратиграфических срезов в интервале пласта. Если по амплитудам просматриваются перспективные зоны, то их можно уточнить с помощью метода спектральной декомпозиции. Спектральная декомпозиция позволяет детально рассматривать строение продуктивных интервалов. Особенно это актуально в условиях развития сложных геологических структур, состоящих из тонких пластов, линз и палеорусел.

Сейсмические данные имеют изменчивый частотный состав во времени. Частотно-временное разложение (спектральная декомпозиция) сейсмического сигнала преследует цель параметризации переменной во времени упругой волны, прошедшей через различные породы и природные резервуары. Обычно сейсмические данные имеют ширину спектра порядка 60-80 Гц. Таким образом, сейсмическая запись содержит энергию отраженных волн большого диапазона частот. При определенных условиях, особенно при сложном стратиграфическом строении и малоамплитудных разрывных нарушениях, полезно иметь представление об амплитуде и фазе сигнала на конкретных частотах. Эти амплитуды напрямую связаны с распределением физических свойств в разрезе. Анализ результатов спектральной декомпозиции позволяет разделять амплитудные изменения по частоте, тем самым понять истинное распределение акустических свойств резервуаров углеводородов.

Интерпретация заключается в определении диапазона частот максимальных значений амплитуд целевых объектов. С помощью RGB-смешивания объединяются рассчитанные ампли-

туды в определенном диапазоне частот, что представляет возможность выполнить более надежную оценку резервуара. Для интерпретации были привлечены стратиграфический срез по кубу амплитуд, сейсмофазии, азимуты углов наклона, временные толщины между ОГ Т и Ю3, мгновенные фазы по ОГ Т, срез куба когерентности по ОГ Т, срез куба ant Tracking (Schlumberger).

Наиболее точно представляют палеоруслы два сейсмических параметра: временные толщины пласта Ю2 и когерентность, рассчитанная по ОГ Т. По сути это континентальные осадки с сохранными палеоруслами, не размытые морем. Основное направление палеопотоков на площади исследований - северо-западное, остальные направления связаны с разрывной тектоникой и рельефом на время образования пласта Ю2.

При расчете количественных оценок были получены небольшие значения коэффициентов корреляции между отдельно взятыми сейсмическими атрибутами и петрофизическими параметрами среды. Выявлена определенная связь временных толщин между ОГ А-Т, моделированного акустического импеданса по ОГ Т и среднеквадратичных амплитуд с эффективными и нефтенасыщенными толщами. С учетом небольших коэффициентов корреляции каждого из атрибутов с данными РИГИС в отдельности, использована множественная регрессия (нейронные сети). Использовано более 300 скважин. В результате были получены карты эффективных и эффективных нефтенасыщенных толщин с коэффициентами корреляции 0,6. По полученным данным была выделена зона глинизации пласта Ю2 и перспективная зона повышенных эффективных нефтенасыщенных толщин.

Кроме стандартного динамического анализа выполнен сейсмофациальный анализ, целью которого являлось восстановление обстановок осадконакопления и прогноз литофаций по данным сейсморазведки. В основе сейсмофациального районирования продуктивных интервалов лежит анализ изменений волновой картины и классификация сейсмических трасс по их форме.

Пласт Ю2-3 полностью перекрывает отложения триаса на территории Сургутского свода. В волновом поле тюменской свиты каждый пласт приурочен к своему положительному экстремуму - отраженной волне, когда нижние пласты тюменской свиты выклиниваются, то и экстремум, который стратифицируется с нижним пластом, исчезает из разреза. Выклинивание следующего пласта приводит к аналогичным изменениям в поле отраженных волн - исчезает еще один экстремум. Таким образом, весь разрез отложений тюменской свиты характеризуется сейсмической трассой, форма которой зависит не от литологического состава пластов, а от количества экстремумов от этих пластов в разрезе.

Сейсмофазии в интервале пласта Ю2 рассматривались в разных временных интервалах. Наиболее интересным оказался интервал: ОГ Т (Ю2-Ю3). Полученная схема сейсмофаций позволила разгра-

ничить площадь на две зоны с различными условиями осадконакоплениями, что необходимо для разделения скважин на группы при проведении инверсионных преобразований. Карты сейсмофаций анализировались совместно с результатами динамического анализа.

В период формирования пласта Ю2 в пределах северной части площади накапливались осадки верхней поймы и озерно-аллювиального генезиса сокращенной толщины, в пределах склонов центральной части - осадки дельтовой и аллювиальной равнины различных фаций. В южной части формировались песчаные русловые фации, отложения пляжей и отмелей, баровые тела, местами осадки лагун и маршей. В юго-восточной части, в пределах погруженной области, накапливались осадки озерно-аллювиальной равнины с преимущественно глинистым типом разреза увеличенной толщины.

По сейсмическим материалам в интервале ОГ Т, с которым стратифицируется продуктивный на месторождении пласт Ю2, проведена классификация сейсмических трасс по форме импульса. При сопоставлении результатов палеогеографических исследований и распределения по площади участка сейсмических классов установлено, что классы согласуются с палеоуровнями седиментации юрских отложений.

Осадки первого класса представлены преимущественно глинистыми отложениями озерно-аллювиальной равнины, временами заливаемой морем, и имеют увеличенную толщину отложений.

В отложениях второго сейсмического класса вероятно наличие песчано-алевролитовых прослоев небольшой толщины. С третьего по девятый классы осадков представлены фациями песков разлива. Для этих фаций характерна увеличенная общая мощность пласта, частое переслаивание маломощных песчано-алевролитовых и глинистых прослоев, свидетельствующих об активной гидродинамике среды и частой смене режимов осадконакопления.

Предполагаемые фации русловых отложений, меандрирующих и спрямленных рек, сложенные мощным песчаным пластом или двумя песчаными прослоями с глинистой перегородкой, характеризуются каротажной фацией сундучной формы, и приурочены в основном к десятому сейсмическому классу. В целом можно сказать, что существует определенная зональность в размещении сейсмических классов и фаций пласта Ю2 по площади исследований.

Пласт Ю2 накапливался в полифациальных условиях и распределение фаций пласта обусловлено той или иной палеогеографической обстановкой. Основные перспективы в развитии песчаных фаций пласта Ю2 следует связывать с участками,

на которых в батское время могла существовать обширная аллювиальная равнина. Сопоставление распределения амплитуд на стратиграфических срезах вдоль ОГ Т показало возможность существования различных палеофациальных обстановок в пределах отдельных участков на площади исследований.

Заключение.

В результате комплексирования результатов материалов ГИС, опробования скважин, динамического и сейсмофациального анализа в интервале продуктивного горизонта Ю2 на одной из площадей Сургутского свода Западной Сибири сделаны следующие основные выводы:

- наиболее информативными атрибутами сейсмической записи при исследовании особенностей и прогнозе продуктивности отложений пласта Ю2 оказались производные амплитуд - среднеквадратичная амплитуда и мгновенная амплитуда, псевдоакустический импеданс. Значительный вклад в анализ распределения ФЕС в исследуемых интервалах по площади работ внес акустический импеданс;

- для прогноза эффективных толщин пласта Ю2 рекомендуется использование связей с временными толщинами между ОГ А-Т, псевдоакустического импеданса и среднеквадратичных амплитуд;

- в целях восстановления обстановок осадконакопления и прогноза литофаций целесообразно выполнение сейсмофациального анализа и районирования продуктивных интервалов на основе анализа изменений волновой картины и классификации сейсмических трасс по их форме;

- одними из наиболее перспективных зон пласта Ю2 являются погребенные палеоруслы, картирование которых достаточно надежно реализовано с помощью метода спектральной декомпозиции. Спектральная декомпозиция позволяет детально рассматривать строение продуктивных интервалов. Особенно это актуально в условиях развития сложных геологических структур, состоящих из тонких пластов, линз и палеорусел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа» / под ред. Э.А. Ахпателова, В.А. Волкова, В.Н. Гончаровой, В.Г. Елисеева и др. – Екатеринбург: Издат-НаукаСервис, 2004. – 148 с.

2. Бембель С.Р., Бембель Р.М., Авершин Р.В., Корнев В.А. Перспективы выделения продуктивных участков в юрских отложениях на площадях Фроловской НГО // Известия вузов. Нефть и газ, 2018. – №4. – С.7-14.

3. Бембель С.Р. Геология и картирование особенностей строения месторождений нефти и газа Западной Сибири. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 215 с.