

Е.В. Пятунина, В.С. Попова

ОАО «Пермнефтегеофизика»

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 3D В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЫМСКО-КУНГУРСКОЙ ВПАДИНЫ

Благодаря высокой плотности данных 3D и возможности комплексного, интегрированного подхода в изучении особенностей строения перспективных объектов удалось восстановить этапы тектонического развития территории, выявить разрывные нарушения в протерозойских и палеозойских комплексах пород, с достаточной степенью достоверности провести границу литолого-фациального замещения верхнефранских отложений, на основе кластерного анализа и атрибутов волнового поля выделить органогенные постройки, определить их возраст.

В последнее десятилетие в юго-восточной части Пермской области сейсморазведка 3D успешно применяется для детализации нефтяных месторождений. Ее высокая информативность, обеспеченная плотностью сейсмических наблюдений, позволяет не только подробно изучить морфологические характеристики локальных объектов, но и получить более полное представление о строении продуктивных горизонтов, провести их сейсмofациальный и палеотектонический анализ. Трехмерная сейсморазведка также позволяет с большей степенью достоверности выделять и трассировать тектонические нарушения и другие границы резкого изменения рельефа отражающих поверхностей [3].

В 2001 г. были проведены пространственные наблюдения на Алтыновском месторождении нефти и газа, которое находится в районе со сложными геологическими и сейсмогеологическими условиями. В состав месторождения входят Алтыновская и Толокинская структуры, различные по своим морфологическим характеристикам, генезису и залежам углеводородов.

Геологические процессы, имевшие место на описываемой территории, привели к образованию многочисленных ловушек нефти и газа структурно-литологического, тектонически-экранированного и смешанного типа. Известно, что разрывные нарушения контролируют пространственное размещение цепочек локальных поднятий, влияют на осадконакопление, являясь экранами на путях миграции углеводородов. Поэтому немаловажная роль отводилась изучению тектонического и палеотектонического развития территории.

Возможности сейсморазведки 3D позволяют на основе анализа различных атрибутов волнового поля выявить этапы тектонического развития территории, выделить разрывные нарушения и малоамплитудные зоны деформации осадочного чехла. Для этой цели использовались параметры, отображающие наклоны и кривизны линий  $T_0$  отражающих горизонтов. В результате интерпретации атрибутов поверхностей  $T_0$  установлено, что

максимальные изменения параметров выстраиваются в линейные зоны северо-западного простираия. Чаще всего они соответствуют крутым бортам локальных поднятий. В южной части зафиксировано максимальное сгущение градиентных значений всех атрибутов. При дальнейшем совместном рассмотрении карт атрибутов и временных разрезов установлено соответствие данной зоны грабенообразному прогибу. Анализируя азимуты углов наклона горизонтов III и V<sup>ВП</sup>, наблюдаем смещение градиентных зон ОГ III в юго-западном направлении. По горизонтам нижнекаменноугольной системы эта тенденция еще сохраняется, но уже по ОГ IV отмечается незначительный сдвиг на северо-восток. Эти колебательные движения, вероятно, связаны с процессами сжатия и растяжения, в которые была вовлечена восточная часть Русской платформы.

В южной части Алтыновской площади сейсморазведочных работ выделен ряд разрывных нарушений, которые образуют грабенообразный прогиб северозападного простираия. Восточный борт грабена осложняет западное крыло Толокинской структуры. Внутри грабена намечена серия нарушений, которые характеризуют мелкоблоковое строение пород рифейского комплекса.

Для определения возраста тектонических нарушений и этапов их развития использовался метод палеорекопструкций. Установлено, что все тектонические нарушения, выявленные в палеозойской части разреза, имеют свои корни в протерозойское время. От поверхности фундамента прослеживается серия разрывных нарушений, разделяющих приподнятые и опущенные блоки. В позднедевонско-турнейское время в процесс погружения вовлекаются более обширные части площади, увеличивается угол наклона западного сместителя. К началу поздневизейского века тектоническая активность затухает. В осевой части грабена происходит накопление визейских терригенных отложений увеличенной толщины (порядка 83 м). К концу башкирского века тектонические движения возобновляются. В пермскую эпоху в связи с формированием Уфимского плато, происходит смена регионального наклона, и вся восточная часть площади начинает воздыматься. Положительные и отрицательные формы, выделяемые на временных разрезах, приобретают современный контрастный вид.

Для выяснения палеотектонических условий формирования структур и сохранности залежей нефти и газа использовался метод анализа мощностей (метод изонахического треугольника). В основе метода лежит представление о связи характера тектонических движений с осадконакоплением.

К началу визейского века все локальные структуры существовали как самостоятельные, замкнутые формы, что связано с облеканием органогенных построек. Поднятия сохраняют замкнутость как на начало верейского века, так и на конец ассельского времени, что свидетельствует о возможности существования потенциальных ловушек нефти в отложениях нижнего и среднего карбона.

При изучении волнового поля в интервале верхнедевонско-турнейских отложений по профилям меридионального направления было условно выделено два типа сейсмической записи. В южной части площади на фоне погружения

ОГ III, отождествляемого с кровлей девонских терригенных пород, отмечается повышенная слоистость разреза. В интервале франских отложений выделяется несколько четких, выклинивающихся осей синфазности, заполняющих прогиб. К северу интенсивность отражений ослабевает, в волновом поле выделяется ряд органогенных построек. Особенности сейсмической записи между ОГ III ( $D_{3tm}$ ) и Нп ( $C_{1t}$ ) исследовались также кластерным анализом в различных временных окнах и атрибутами волнового поля, в результате чего подтвердилась зональность осадконакопления. К сожалению, рассматриваемые отложения слабо изучены бурением. Но в разрезах соседних скважин 128, 130, 132 (Бикбайской площади) выделены мощные прослои (до 64 м) глинистых известняков, переходящих в известковистый аргиллит. Это объясняется существовавшим в мендымское время прогибом с некомпенсированным режимом осадконакопления, названного Бикбайским. Отмечалось, что в пограничной зоне прогиба и мелководно-морского шельфа, окружавшего его в мендымское время, создавались благоприятные условия для роста органогенных построек.

Таким образом, выявленная по данным сейсморазведки литолого-фациальная зональность в южной части площади отождествляется с битуминозно-мергельно-карбонатными осадками (фация II). К северу от нее выделена наиболее перспективная фация I, которая связана с органогенными карбонатами и собственно биогермами мендымского возраста. В плане граница литолого-фациального замещения пород верхнефранского возраста имеет северо-западное простирание. Анализ волнового поля на Алтыновской площади также позволил выделить небольшие биогермы фаменского возраста. Они развивались не только в девонском прогибе и на его бортах, но и непосредственно над мендымскими постройками.

С увеличением плотности наблюдений менялось и представление о геометрии поднятий. Алтыновская структура намечена геологической съемкой в 1946 году. По результатам сейсмических и буровых работ картировался только современный северный купол. По результатам сейсморазведки 3D структура представлена двумя вершинами – северной и южной. Оба купола являются брахиантиклиналями, вытянутыми в северо-западном направлении. В пределах северной антиклинальной складки бурением получены притоки нефти в турнейских, визейских терригенных и верейских отложениях, а также газовые залежи в бобриковских и турнейских пластах.

Толокинская структура подготовлена под поисково-разведочное бурение сейсморазведкой в 1978 г. Ранее, структура являлась куполом субмеридионального простирания, ее генезис определялся как тектонический. Современными исследованиями установлен седиментационно-тектонический характер поднятия. Его приподнятые части и крылья в верхнедевонское время усложнили органогенные постройки. Структуры облекания биогермов образуют на поверхности ОГ II<sup>n</sup> ( $C_{1t}$ ) четыре купола. Западная вершина имеет вид брахиантиклинали, вытянутой вдоль линии сброса, остальные представлены куполовидными складками неправильной формы. Глубоким бурением в скв. 207 и 208 (Алтыновская) вскрыты залежи нефти в породах

тульского и радаевского горизонтов, залежи газа – в турнейских и бобриковских отложениях. К востоку скв. 209 и 213 (Алтыновская) получены небольшие притоки нефти в пластах Т, Мл, Бш, В<sub>3</sub>, В<sub>4</sub>, газовая залежь вскрыта в каширских карбонатах.

Помимо уточнения строения известных ранее поднятий, сейсморазведкой 3D были выявлены два новых объекта, которые также являются структурами обслекания верхнедевонских биогермов (Ноябрьское и Климаринское поднятия).

Исследования по изучению строения визейского терригенного комплекса включали: детальную послойную корреляцию и литолого-стратиграфическое расчленение разрезов, интерпретацию данных ГИС, сейсмомоделирование и проведение кластерного анализа сейсмозаписи, инверсию сейсмических трасс в псевдоакустические кривые, построение литолого-фациальных схем и выделение зон, перспективных на обнаружение коллекторов.

К основным литологическим особенностям продуктивного комплекса можно отнести следующие: невыдержанность толщин песчаных пластов, их резкое замещение, наличие в разрезах скважин генетических признаков, указывающих на регрессивно-трансгрессивное перемещение береговой линии (углистость и прослой известняков).

Для выявления обстановок осадконакопления, существовавших в ранневизейский век, изучался керновый материал, анализировались толщины пластов-коллекторов и характер контактов с подстилающими отложениями. Принимая во внимание диагностические признаки фаций и учитывая ранее проведенные исследования [1–5], можно предположить следующую седиментационную модель территории.

В козьвинско-радаевское время в условиях прибрежной равнины шло формирование песчано-алевроито-глинистых осадков с преобладающим развитием алевролит-аргиллитовых пород. Песчаный пласт Мл имеет на площади ограниченное распространение. Толщина пласта составляет 1–13,4 м. По комплексу диагностических признаков песчаные тела увеличенной мощности, возможно, относятся к устьевым барам.

Прибрежно-морские обстановки седиментогенеза продолжали существовать и в бобриковское время. В большинстве разрезов скважин нижнебобриковские отложения представлены тонким переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. В породах наблюдается углистость и сидеритизация.

В позднебобриковское время в основном сохраняется унаследованное развитие. В этот период происходит накопление песчано-алевроито-глинистых осадков, переслаивающихся между собой. Песчаники увеличенной мощности имеют ограниченное распространение, их генезис, по-видимому, баровый. Отличительной особенностью верхнебобриковских отложений является более трансгрессивный характер седиментации. На это указывает прослой известняка толщиной около 1 м в кровельной части горизонта. При корреляции разрезов скважин данный пласт использовался в качестве реперного.

В тульское время формирование песчаных пластов связано с обстановками дельтовой равнины, что может подтверждаться грануломет-

рическим составом (наличием в разрезах песчаников различной зернистости и приуроченностью более грубых разностей к подошвенной части пластов).

Таким образом, палеогеографическая обстановка ранневизейского века была благоприятной для аккумуляции песчаного материала. Коллекторы образовались в прибрежно-морских условиях и характеризуют в основном фации баров и дельтовых проток.

При достигнутой разрешенности сейсмозаписи и установленных толщинах пластов в волновом поле отображаются эффекты от пачек, содержащих несколько пластов-коллекторов. Данные моделирования свидетельствуют, что прогнозирование разреза визейского терригенного комплекса возможно только для двух толщ: тульско-бобриковской и косьвинско-радаевской. На основании результатов синтезирования волнового поля выбраны временные окна для проведения кластерного анализа сейсмозаписи. В результате комплексного изучения материалов ГИС, керна и сейсмофациального анализа были построены литолого-сейсмофациальные схемы косьвинско-радаевских и бобриковско-тульских отложений.

Трассирование границ литолого-сейсмофациальных зон косьвинско-радаевских отложений проводилось с учетом результатов кластерного анализа (пакет Stratimagic) во временном окне  $T_0^{lin} - 20$  мс /  $T_0^{lin} + 8$  мс, бобриковско-тульских отложений – во временном окне  $T_0^{lin*} - 20$  мс /  $T_0^{lin*} + 30$  мс.

На схемах выделены две литолого-сейсмофациальные зоны. В зоне I для косьвинско-радаевских отложений мощность песчаных пород составляет более 40%, а для бобриковско-тульских отложений – более 25 %. Зоны II характеризуются меньшим содержанием песчаников. Песчаные пласты здесь маломощные, неоднородные.

Следует отметить, что трассирование границ литолого-сейсмофациальных зон тульско-бобриковских отложений явилось сложной задачей из-за неоднозначности расшифровки волновой картины. Сейсмическая запись в исследуемом интервале не всегда соответствует результатам моделирования и в ряде случаев не увязывается с данными ГИС. В связи с этим построенная схема может не отображать всех тонкостей разреза. Более достоверной является схема косьвинско-радаевских отложений.

Для интерпретации изменения формы сейсмической записи выполнена инверсия сейсмических трасс в псевдоакустические кривые. В результате инверсии получен куб трасс ПАК, по которому построены карты средних значений акустической жесткости в окнах, соответствующих тульско-бобриковским и косьвинско-радаевским отложениям, а также всей изучаемой толще. Анализ карты, построенной для визейской толщи, указывает на определенную зональность: приуроченность разрезов скважин с увеличенными толщинами песчаных образований к зонам повышенных значений псевдоакустических скоростей. Это позволяет прогнозировать области развития песчаников. Разрезы ПАК были использованы при построении прогнозных разрезов в точках заложения рекомендуемых скважин.

Подводя итог изучению особенностей строения визейских терригенных отложений, следует охарактеризовать разрез с позиции наличия коллекторов и

выделить зоны, перспективные для их обнаружения. Наиболее выдержанным по площади является пласт Тл<sub>2-6</sub>. С учетом толщин от ОГ II<sup>K</sup> (C<sub>1</sub>t<sub>1</sub>) построена структурная карта его кровли, проведены внешние контуры нефтеносности пласта Тл<sub>2-6</sub> в пределах Толокинской структуры Алтыновского месторождения. По материалам сейсморазведки 3D уточнен контур залежи, выявлены перспективные участки развития пласта с возможным нефтенасыщением 2–3 м.

Для изучения продуктивных среднекаменноугольных отложений проведен кластерный анализ во временном окне T<sup>0</sup>T<sup>1</sup>–50 мс + T<sup>0</sup>T<sup>1</sup> – 4 мс. В результате в центральной части площади в направлении с северо-запада на юго-восток выделена полоса увеличенных толщин каширо-верейских отложений, которая захватывает один из куполов Толокинской структуры и Климариjsкое поднятие. Учитывая нефтегазонасыщение рассматриваемых отложений на Толокинской структуре, можно предположить возможное существование залежей УВ и на Климариjsком поднятии. Природа возникновения рукавообразного канала каширско-верейского возраста, вероятно, связана с эрозионно-карстовыми процессами. Анализ мощностей каширского и верейского горизонтов, проведенный по результатам поисково-разведочного бурения, аномальных толщин этих слоев не выявил. Все скважины расположены в краевой части полосы увеличенных толщин каширско-верейских отложений.

Таким образом, высокая плотность данных 3D и возможность комплексного, интегрированного подхода в изучении особенностей строения перспективных объектов позволили восстановить этапы тектонического развития территории, выявить разрывные нарушения в протерозойских и палеозойских комплексах пород, с достаточной степенью достоверности провести границу литолого-фациального замещения верхнефранских отложений, на основе кластерного анализа и атрибутов волнового поля выделить органогенные постройки, определить их возраст. В результате интерпретации получены современные структурные планы основных отражающих горизонтов, существенно изменилось представление о морфологических особенностях локальных поднятий. Применение кластерного анализа сейсмозаписи с привлечением данных керна и ГИС позволило более полно восстановить модель осадконакопления визейских терригенных отложений, выявить зональность в распространении песчаников. Совместно со структурной интерпретацией намечены наиболее благоприятные точки для разведочного бурения, выделены перспективные участки развития продуктивных отложений, определены контуры залежей и возможные нефтенасыщенные толщины пластов коллекторов. На основе анализа данных бурения и особенностей волнового поля в интервале среднекаменноугольных отложений выделена полоса увеличенных толщин каширо-верейского возраста, выяснены возможности их нефтегазонасыщения.

### Библиографический список

1. Алиев М.М., Яриков Г.М. и др. Каменноугольные отложения Волго-Уральской нефтяной провинции. М.: Недра, 1975, 264 с.
2. Буш Д.А. Стратиграфические ловушки в песчаниках. М.: Мир, 1977, 215 с.
3. Методические рекомендации по применению пространственной сейсморазведки 3D на разных этапах геологоразведочных работ на нефть и газ. М., 2000, 64 с.
4. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел-литологических ловушек нефти и газа. Л.: Недра, 1984, 260 с.
5. Справочник по литологии / Под ред. Н.Б. Вассоевича и др. М.: Недра, 1983, 509 с.