

# Возможности выявления дополнительных ресурсов в традиционных нефтегазовых провинциях

Кулаков В.И., Бродский А.Я., Пыхалов В.В., ГУДП "Астраханская геофизическая экспедиция", г. Астрахань

Успех поисков ловушек углеводородов напрямую зависит от достоверности и точности геологических представлений о регионе, районе и соответственно площади и участке исследования.

В эпоху социализма в основу геологического изучения территорий были заложены две основные концепции, позволяющие сделать впоследствии СССР одним из главных поставщиков углеводородного сырья в мире: стадийность и непрерывность.

Под стадийностью понималось исследование территорий работами разных масштабов и рангов ( региональные, затем поисковые, далее разведочные и детальные). При этом геологический разрез исследовался с той разрешенностью и глубиной, которые позволяли достичь существовавшие на то время технические и методические средства ( ГСЗ, КМПВ, МОВ, МОГТ и т.д.). Накопленный материал на каждой из стадий позволял решать научно-производственные региональные задачи (геотектоники, геодинамики, определения условий формирования регионов, сейсмо-фациального районирования, оценки нефтегазового потенциала и т.д.), поисково-разведочные (локализация объектов поиска, определения типа ловушек УВ) и детальные исследования ( подготовка объектов к бурению).

Благодаря такой схеме до 90-х годов были открыты крупнейшие, крупные и множество мелких месторождений нефти и газа на территории России и за ее пределами, обеспечивался опережающий прирост структур, подготовленных к глубокому бурению. Безусловно, система была не идеальна. В связи с необходимостью выдавать план по структурам, были и слабо подготовленные объекты, но в то же время СССР стал одним из основных экспортеров углеводородного сырья в мире.

За 1990-2000 годы практически объемы геофизических исследований значительно сократились и, как следствие, значительно уменьшилось количество открытий новых месторождений. Нефтегазовые компании ограничивались доразведкой лицензионных площадей с уже открытыми месторождениями.

Несмотря на забвение основополагающих принципов геологического изучения территорий, в эти годы резко возросли возможности геофизиков при решении геологических задач сейсмическими методами. Этому способствовал доступ к импортным средствам сбора информации, вычислительной техники и программным средствам.

Отечественные производители геофизического оборудования и программных продуктов в условиях жесточайшей конкуренции, иногда совместно с зарубежными партнерами, смогли наладить разработку и выпуск геофизических средств разведки. На сегодняшний день существуют хорошо себя зарекомендовавшие технические средства (телеметрические системы Прогресс-Т2 (г. Саратов), приборы GX 20 и сейсмические кабели, разъемы (г. Уфа) и т.д.), а

так же программные средства (SCS 5, IMPRESS, VELINK, ВЛН и т.д.) адаптированные к Российским условиям и, по своим характеристикам, не уступающие лучшим европейским и американским образцам.

При использовании современных технических и программных средств появляется возможность по-новому смотреть на те геологические данные, которые были паработаны в прошлые годы. Это позволяет вырабатывать новые идеи и направления, как в научном, так и прикладном плане: выявлять новые типы ловушек углеводородов, которые в былые годы были не выявлены вследствие технических ограничений полевой аппаратуры и вычислительных средств; создавать более полную геологическую модель; выявлять особенности строения территорий, как на региональном уровне, так и при детализационных исследованиях и уже казалось бы хорошо изученных нефтегазовых провинциях.

Повышение чувствительности и динамического диапазона полевой аппаратуры, способов и методик возбуждения и сбора информации позволяют зарегистрировать более слабые сигналы, тем самым повысить, как разрешенность сейсмической записи, так и глубину исследований, сделать доступными для глаз интерпретатора те особенности волновой картины, которые ранее либо были несильно выражены, либо не могли быть зарегистрированы.

Для иллюстрации таких особенностей приведем несколько примеров проведения подобных исследований на достаточно плотно изученном нефтегазовом регионе Нижнего Поволжья - Астраханском своде с использованием отечественной полевой аппаратуры (сейсмостанции типа "Прогресс Т2") и отечественных программ, систем обработки и интерпретации материалов (типа VELINK, SISD и др.).

Региональные сейсмические профили, отработанные в 80-е годы прошлого века на северном склоне Астраханского свода, позволили выявить принципиальные моменты и особенности его строения. В то же время как-либо значимые локальные объекты, перспективные для поисков УВ, выявлены не были.

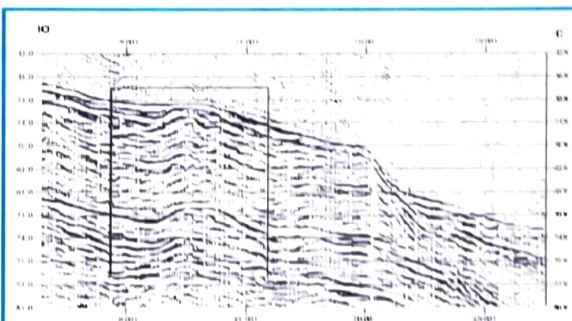


Рис. 1 Изолированные рифовые постройки на северном склоне Астраханского свода

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ





Выполненный в 2002-2003 годах силами АГЭ региональный профиль I-RSP практически совпадающий с профилями прошлых лет, но отработанный и обработанный с использованием современных технологий позволил по-новому взглянуть на этот, ранее считавшийся малоперспективным, район. На рис. 1 показан фрагмент глубинного динамического разреза по профилю I-RSP. В интервале глубин 5100-7000 м отчетливо видны зоны, показывающие наличие холмообразных сейсмофаций при наличии хорошо выраженных границ облекания. Такие объекты, ранее не проявлявшиеся в волновом поле на этой территории, могут быть проинтерпретированы как изометрические рифовые постройки.

Учитывая, что на восточном склоне Астраханского свода в районе подобных объектов открыто два газовых месторождения (Алексеевское и Табаковское), выявленные тела могут быть интересными.

Ряд задач требует не только использования современных технических и программных средств, но и разработки специальных методик, как полевой обработки, так и извлечения геологической информации и повышения вертикальной разрешенности. В частности, повышение вертикальной разрешенности сейсморазведки МОГТ при изучении подсолевых отложений Астраханского свода, при сложных поверхностных условиях и соляном диапиризме (когда линейные размеры диапира меньше длины расстановки). Безусловно, нет общего решения проблемы для всех случаев. Коснемся лишь эффективности использования современных аппаратных средств совместно со знаниями и опытом работы на конкретной территории Астраханского свода.

Теоретические аспекты проблемы достаточно хорошо освещены в отечественной и зарубежной литературе. Общие подходы к решению проблемы были определены в середине прошлого века. В 1946 - 1950 гг. Г.А. Гамбурцев, И.С. Берзон и другие разработали методику сейсморазведки высокого разрешения. Она основана на применении маломощных излучателей, размещенных под ЗМС и широкодиапазонной регистрирующей аппаратуры. Было показано, что глубинность сейсморазведки снижается из-за недостаточной интенсивности возбуждаемого волнового поля в связи с применением маломощных точечных излучателей, необходимых для повышения частоты сигнала, и из-за быстрого понижения высокочастотной компоненты сигнала с глубиной. Из теории сферического излучателя, разработанного И.И. Гувиным, следует, что спектр сейсмического сигнала зависит от массы заряда и физических свойств пород, в которых он размещен. С увеличением мощности источников спектры смешаются в область низких частот.

В реальных средах высокочастотные составляющие затухают значительно быстрее, чем низкочастотные. Поскольку маломощные излучатели снижают глубинность разведки, то заряд определяют исходя не из частотного состава сигнала, а по интенсивности записи в целевом диапазоне регистрации. Недостаток интенсивности компенсируют увеличением мощности источника. Это снижает частотный диапазон сигнала, повышает интенсивность

кратных волн. Используя базу группирования, низкоскоростную составляющую волнового поля подавляли, хотя при этом снижалась высокочастотная составляющая волнового поля. Как следствие, падала разрешенность сейсморазведки. Реализуя существовавшие на то время возможности, при проведении работ, как правило находили оптимальное соотношение между величиной заряда (или группирования вибраторов), апертурой наблюдения и стоимостью работ.

Использование такого методического подхода позволило советским геофизикам совершить открытия нефтяных и газовых месторождений, в том числе и одного из крупнейших в мире Астраханского газоконденсатного месторождения.

По суммарным разрезам, отработанным и обработанным в 1973-1986 гг., достигнута максимальная вертикальная разрешенность для подсолевых отложений, которая при длине волны 300 м составляет не более 100-150 м. Если учесть влияние солянокупольного диапиризма, то для изучения внутренней структуры отложений такая разрешенность явно недостаточна. Переобработка материалов по современным программам и технологиям позволила повысить вертикальную разрешенность сигналов до 70-100 м. Безусловно это шаг вперед для изучения внутренней структуры палеозойских отложений Астраханского свода.

С появлением современных телеметрических систем и технологий обработки сейсмического сигнала появилась реальная возможность решения этой проблемы без существенного удорожания работ.

Одним из способов повышения вертикальной разрешенности было использование современных телеметрических систем и современных виброустановок, производящих широкий спектр возбуждения свип-сигнала с одновременным группированием излучателей. Такие работы были проведены на северо-восточном борту Астраханского свода (компания Петроальянс) в 2002 г. с использованием в качестве источника 3 виброустановок МЕРЦ, и телеметрической регистрирующей аппаратурой INPUT/OUTPUT-2. Обработка проводилась с использованием современных импортных программных средств. Полученные результаты показали значительный прирост разрешенности в неглубоких (1,5 - 2 км) мезо-кайнозойских отложениях и незначительное повышение вертикальной разрешенности в подсолевых (длина волны составляет 200 м, предельная вертикальная разрешенность 100 м). При этом отмечается не всегда выраженная когерентность и прослеживаемость основных реперных горизонтов, внутренняя структура подсолевых отложений практически не читаема.

Такой результат не стал неожиданным. Район исследований имеет сложное орографическое и сейсмогеологические условия. Дневная поверхность представляет собой незакрепленные пески и барханы. Зона малых скоростей представлена в основном песчанком и рыхлыми глинами мощностью 18-20 м. Такие поверхностные условия приводят к резкому поглощению энергии высоких частот, а пересеченный рельеф ограничивает возможности одноуровневого группирования (вибраторов, источников возбуждения колебаний).



КСМ, ТСК).

Анализ результатов работ, проведенных на Астраханском своде, показывает, что решение проблемы лежит в использовании современной ретрансляционной аппаратуры и точечных (либо сгруппированных на небольшой базе) малоомощных излучателей. Например, при использовании телеметрической системы Прогресс Т2, возбуждении сигнала под ЗМС и снижении веса заряда на 40 % (с 2,5 до 1,6 кг) удается повысить видимый частотный диапазон с 25 до 30 Гц и подсолевых отложений.

Анализ сейсмических материалов показывает, что затухание высоких частот происходит не равномерно по разрезу с глубиной. Основной подавляющей средой для высоких частот является верхнемеловые карбонатные отложения на глубинах 600-800 м. Эксперименты показали, что если использовать точечный излучатель, то с уменьшением веса заряда происходит повышение видимой частоты в подсолевых отложениях с резким уменьшением соотношения сигнал/помеха. Отсюда решение проблемы видится в подборе таких методических приемов, при которых можно было бы соотнести более высокую частоту и достижения такого соотношения сигнал/помеха, которое позволило бы решить геологическую задачу при обработке материала. То есть одновременно с изменением полевой методики использовать методические приемы, направленные на повышение соотношения сигнал/помеха.

Одним из таких способов являются шумоподавляющие фильтры. При экспериментальных работах нами был использован фильтр, основанный на представлении волнового поля в виде степенного ряда. При этом малые степени ряда характеризуют когерентную часть волнового поля, а высокие, некогерентную. Использование такого подхода позволило повысить соотношение сигнал/помеха.

Фильтры такого рода не являются чем-либо особенным, поэтому мы говорим лишь о конкретных сейсмогеологических условиях, где они дают положительный эффект.

Специалисты АГЭ разработали и приняли ряд технических приемов, как при проведении полевых работ, так и обработке сигналов. В результате работ на северной периферии

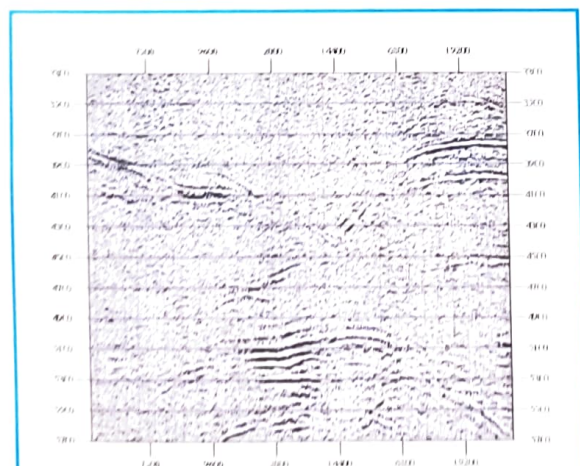


Рис. 2 Структура девонско-каменноугольных отложений в зоне сочленения Астраханского свода и Сарпинского прогиба. (Работы 2004 г., ТСС "Прогресс-Т2", АГЭ)

Астраханского свода с использованием полевой аппаратуры и обрабатывающих средств российского производства ("Прогресс Т2") была достигнута вертикальная разрешенность на глубинах 6-7 км порядка 70-75 м. На рис. 2 приведен фрагмент временного разреза, впервые показывающий сложность геологического строения девонско-каменноугольных отложений в зоне сочленения Астраханского свода и Сарпинского прогиба (Работы 2004 г., ТСС "Прогресс-Т2", АГЭ).

При решении поисковых и разведочных задач использование современных технических средств позволяет выявить те закономерности, которые раньше рассматривались как недоработки исполнителей (в связи с нечеткостью и неясностью их проявления в волновом поле). Так при детальных работах 2003 года в зоне сочленения Эпигеринской и Русской платформ были отчетливо выявлены зоны влияния палеотектонических напряжений в карбонатных меловых отложениях (рис.3), которые проявляются в виде малоамплитудных складок.

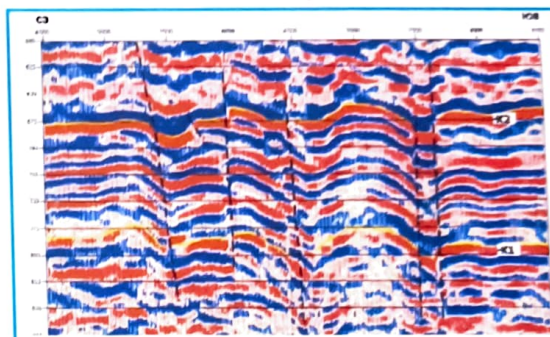


Рис. 3 Особенности строения меловой карбонатной платформы, связанные с горизонтальным напряжением в зоне сочленения эпигеринской и русской платформ. (2003 г., ТСС "Прогресс Т-2", АГЭ)

При этом особенностью разреза является наличие как бескорневых малоамплитудных разрывных нарушений, так и флексидрообразных изгибов, только в жестких карбонатных отложениях. В вышележащих и в нижележащих песчано-глинистых пачках следствий бокового сжатия не выявляется из-за более пластичных свойств этих горных пород. Наличие зон неравномерного напряженного состояния территории позволяет по-новому взглянуть на условия формирования залежей углеводородов в мезо-кайнозойское время и использовать геодинамические критерии при исследовании объектов.

Таким образом, использование современных телеметрических систем, методических приемов и программных средств позволяют на новом качественном и количественном уровне приступить к решению не только локальных задач (определения нефтегазоперспективных объектов), но и вновь вернуться к традиционной схеме стабильности изучения нефтегазовых провинций.

Проведение дополнительных региональных и поисково-разведочных работ позволит по-новому взглянуть на потенциал уже известных месторождений углеводородного сырья.

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ





## Применение интерпретационного подхода для коррекции средне- и длинно-периодной составляющих статики в условиях развития многолетне мерзлых пород

Королев Е.К., Королев А.Е., Хайретдинова Е.М., ООО "Парадайм геофизикал", г. Москва

Наличие многолетней мерзлоты значительной мощности и мозаичного строения по площади является одним из главных факторов, определяющих сложность сейсмогеологических условий севера Западной Сибири и одной из главных, если не основной, причиной низкого качества сейсмических материалов. Чередование мерзлых терригенных пород с зонами "растеплений", при котором контраст (отношение) скоростей продольных волн на границах достигает 2-3, вызывает резкое изменение не только волновой картины, но и частотного состава регистрируемых волн. С зоной многолетнемерзлых пород (ЗММП) неразрывно связаны явления дифракции, поглощения и рассеивания энергии отражений, возникновение обменных волн на границах неоднородностей, а также, сложность и нестабильность поля помех. Существенно, что зачастую, растеплениям ЗММП на поверхности сопутствуют озера и болота, приводящие к невозможности реализовать на этих участках полевые наблюдения с оптимальной кратностью, что еще более усложняет проблему получения качественной сейсмической информации в данных условиях.

В соответствии с вышесказанным, ключевыми элементами, определяющими качество результатов данных в таких условиях, являются процедуры обработки, устраняющие влияние неоднородной ЗММП. Проблемы, связанные с изменением частотного состава и низким отношением сигнал/помеха, в значительной степени решаются путем применения поверхностно-согласованной деконволюции и последующей балансировки спектра. Наиболее трудной задачей, которую необходимо решить, является определение и коррекция временных сдвигов отражений, вызванных приповерхностными скоростными неоднородностями.

Важнейшие характеристики временных сдвигов, искажающих оси синфазности отражений - это их пространственная протяженность и амплитуда.

Единицей измерения пространственных частот является длина приемной расстановки ( $D$ ). Возможность и точность учета по сейсмическим данным искажений времен отражений, вызванных протяженными неоднородностями - "статическими аномалиями" - зависит от диапазона частот их пространственных спектров. Выделяются короткопериодные (КП) - с периодом меньше  $0,5D$ , среднепериодные (СП) - с периодом от  $0,5D$  до  $2,0D$  и длиннопериодные (ДП) - с периодом более  $2,0D$  - составляющие временных сдвигов [1]. Необходимо учесть, что деление на диапазоны в достаточной степени условно. В зависимости от времени отражений  $T_0$  и величины миксина одна и та же аномалия может быть коротко-периодной по глубокому горизонту и средне- или длиннопериодной для малых времен. Поэтому под длиной приемной расстановки следует понимать эффективную длину базиса, на которой производится суммирование. Еще сложнее обстоит дело с анализом поверхностных искажений при 3D

наблюдениях, когда в зависимости от выбранного направления (инлайн, кросслайн) наблюдаются различные варианты пространственных искажений, вызванные одной и той же неоднородностью.

Единицей измерения, характеризующей величину временных сдвигов, является  $T$  - видимый период колебания отраженной волны.

По величине выделяются малоамплитудные и высокоамплитудные сдвиги. К малоамплитудным относятся сдвиги с приращением от канала к каналу до  $0,5 T$ , а к высокоамплитудным - сдвиги с приращением более  $0,5 T$  [1]. Очевидно, что наличие высокоамплитудных статических сдвигов проявляется более сильно и приводит к практически полной потере корреляции горизонтов на суммарных временных разрезах. В реальных условиях высокоамплитудные короткопериодные временные сдвиги, как правило, приурочены к границам неоднородностей.

Выделенным выше пространственным диапазонам временных сдвигов соответствуют различные их проявления на суммарных временных разрезах. Коротко-периодные сдвиги сказываются на качестве накопления, не изменяя положения линии  $T_0$ , длинно-периодные - приводят только к структурным искажениям горизонтов, не влияя на качество суммирования. Средне-периодным сдвигам свойственно и то и другое. Из этого становится ясно, что различные по пространственной протяженности и амплитуде составляющие временных сдвигов, вызываемых верхней частью разреза (ВЧР), требуют различных подходов к коррекции поправок.

Малоамплитудные коротко-периодные составляющие, как правило, достаточно хорошо корректируются автоматическими процедурами, основанными на алгоритмах максимизации энергии суммирования [2] или путем решения системы 4-х факторных уравнений для наблюдаемых сдвигов методом Гаусса-Зейделя [3]. С коррекцией высокоамплитудных коротко-периодных статических поправок справляются методы глобальной оптимизации, например, метод Монте-Карло [4].

При наличии высокоамплитудных временных сдвигов на протяженных неоднородных зонах, автоматические способы коррекции статических поправок сталкиваются с затруднениями. Для учета аномалий средне- и длинно-периодного диапазона исключаются способы, основанные на оценке мощности суммирования или глобальной оптимизации, поскольку аномалии этого диапазона слабо влияют на энергию суммирования. Возможно определение лишь наиболее высокочастотных составляющих аномалий, проявляющихся на границах неоднородных зон.

Стандартным путем для преодоления упомянутых проблем - т.е. подготовки данных для выполнения автоматической коррекции статики - является применение процедур расчета предварительной статики с использованием волн в первых вступлениях. Однако опыт обработки данных в условиях ЗММП показывает, что подход с использованием предомненных волн нередко