



Высокопроизводительная технология получения глубинно-скоростной модели среды на основе послонной миграции до суммирования

Попов В.В., Ларин Г.В., Кузин А.М., ВНИИГеофизика, ИГиРГИ, г. Москва

ИННОВАЦИИ
ТЕХНОЛОГИИ
ГЕОФИЗИКИ

В 2004 году два крупнейших научных центра России отмечают юбилей: 70 лет ИГиРГИ и 60 лет ВНИИГеофизики. Эти события объединяет не только дата, но и история совместных научных достижений. У истоков проблемы прямых поисков стояли выдающиеся ученые И.Я. Баллах, М.Ф. Мирчиник, Л.А. Сергеев (ИГиРГИ), И.Г. Медовский, С.Ф. Болоших, Березкин В.М., А.Г. Авербух (ВНИИГеофизика) и многие другие ученые этих институтов. В данной статье рассматриваются некоторые результаты использования компьютерной технологии, построения скоростной модели среды на основе миграции до суммирования методом Быстрого Преобразования Кирхгофа, реализованной в системе обработки сейсмических данных СПС-5 РС в виде пакета программ. Отличительной особенностью программно-алгоритмического обеспечения является высокая производительность обработки данных, позволяющая проводить экспресс-обработку значительных массивов данных. Современный уровень развития программно-алгоритмического обеспечения и вычислительной техники позволяют продолжить решение проблемы прогнозирования залежей углеводородов.

В комплексе геолого-поисковых и разведочных работ на нефть и газ в пределах известных нефтегазоносных провинций России роль сейсмических исследований с каждым годом возрастает, при этом большое значение придается обработке ранее уже полученных сейсмических данных. В настоящее время большая часть фонда подготовленных структур относится к структурам, на которых можно ожидать открытия в основном мелких месторождений. Кроме того, в подготовленном фонде присутствует значительное количество малодостоверных структур, выявленных по верхним опорным отражающим горизонтам и в ряде случаев несоответствующих структурным планам глубокозалегающих, перспективных комплексов осадочных пород. Во многих исследованных районах практически исчерпана возможность обнаружения ярко выраженных структурных ловушек. Отсюда возникают более жесткие требования к результатам обработки и интерпретации сейсмических данных, в частности ускоренный анализ данных с целью выбора наиболее перспективных объектов для глубокой обработки и интерпретации. Повышение разрешенности волновой картины на временном разрезе далеко не всегда позволяет сделать обоснованное заключение о перспективности. Необходимо комплексное использование динамических и кинематических параметров и характеристик волнового поля, в первую очередь скоростных параметров, средних, интервальных и пластовых скоростей.

Еще одним немаловажным моментом является возможность учета рассеивающих свойств потенциальных объектов. При использовании стандартного графа обработки по ОГТ такая информация недоступна. Разработанный Тарасовым Ю.А. (ВНИИГеофизика, 1968) способ фокусирующего преобразования нашел широкое применение для выявления областей трещиноватости и связанных с ними возможных коллекторов. Многочисленными исследованиями геологического строения месторождений углеводородов

установлено широкое развитие в той или иной форме эпигенетических процессов. Выщелачивание и перераспределение минералов может приводить к значительному изменению упругих свойств, образованию рассеивающих границ как низкоскоростными, так и высокоскоростными неоднородностями. Поэтому помимо выявления рассеивающих областей для прогноза коллекторов необходимо определить их природу, что фактически нельзя сделать без скоростного анализа.

Представления о скоростном строении среды при обработке сейсмических данных многократных перекрытий в значительной мере формируются в результате проведения разновременного анализа по методу ОГТ и построения на его основе вертикальных и/или горизонтальных спектров скоростей. Полученные таким образом скоростные зависимости при достаточно сложном строении среды могут иметь существенные погрешности. Основная причина их появления связана со структурными факторами: эффективные скорости зависят от угла наклона и кривизны отражающих горизонтов и, поэтому, не описывают реального распределения скоростей распространения сейсмических волн. Наиболее универсальной моделью среды по сравнению со стандартными методами обработки данных сейсморазведки (ОГТ, ПРО, ДМО и пр.) оперирует миграция исходных сейсмограмм. Такая модель учитывает наклоны и кривизны сейсмических границ, преломление и кривизны сейсмических лучей, в ней используется фокусировка рассеянных волн, устраняются неоднозначности при определении скоростей. Ранее применение миграционного скоростного анализа сталкивалось с проблемами технического характера, связанными с дорогостоящими и временными процедурами расчетов на ЭВМ. Современное развитие компьютерных технологий позволяет эффективно решить важную для интерпретаторов-геологов задачу - построение глубинно-скоростной модели среды (ГСМ) - на основе применения глубинной миграции до суммирования.

В основе определения оптимальных миграционных скоростей лежит тот факт, что отличия скоростей, используемых при миграционных преобразованиях первичных сейсмограмм от реального распределения скоростей в среде, оказывают значительное влияние на форму получаемого изображения среды. Для получения корректного изображения среды необходимо осуществлять скоростной анализ на основе миграционного преобразования исходных сейсмограмм, где суммирование производится вдоль годографа дифракции. Определяемые на основе такого подхода скорости, в отличие от разновременного анализа сейсмограмм ОГТ, не содержат искажений, связанных как со структурным фактором - наклоном и кривизной отражающих границ, так и погрешностей из-за достаточно резких изменений пластовых скоростей.

Описываемая методика построения глубинно-скоростной модели среды базируется на развитии волновой сейсмической миграции методом Быстрого Преобразования Кирхгофа (БПК), основы теории и методики, которой были разработаны в лаборатории сейсмогеографии ВНИИГеофизики, в 80-е года прошлого века, под

руководством Васильева С.А. [1-3]. Алгоритм технологии построения ГСМ кратко сводится к следующему. Вначале определяется предварительная (начальная) скоростная модель среды на основе программы вертикального анализа миграционных скоростей. По временному или глубинному разрезу, полученному на основе миграции до суммирования и начальной скоростной модели среды, выделяется ряд опорных сейсмических границ. Далее производится итеративное уточнение геометрии этих горизонтов и распределения скоростей вдоль них. В результате формируется глубинно-скоростная модель, на основе которой вновь проводится миграция до суммирования (во временном или глубинном представлении). В случае обнаружения на полученном мигрированном разрезе дополнительных сейсмических границ, их добавляют в глубинно-скоростную модель и проводят дополнительное уточнение скоростей и геометрии добавленных границ. Таким образом, строится окончательная модель среды, на основе которой проводится окончательная глубинная миграция. Конечно, начальным разрезом, по которому выделяются границы, может быть также разрез ОГТ, ПРО, или мигрированный после суммирования временной разрез.

Технология построения ГСМ состоит из следующих процедур для системы обработки данных СЦС-5 [4]:

1. Формирование глубинно-скоростной модели среды (средние и интервальные скорости) на основе программы вертикального анализа миграционных скоростей по исходным сейсмограммам (ОПВ). Позволяет получать по рассчитанным вертикальным спектрам скоростей скоростные кривые $V(t)$ и $V(z)$. Программа работает в двух режимах - в режиме анализа средних или интервальных скоростей (при этом модель может описываться криволинейными границами с латерально неоднородными слоями). Помимо скоростных спектров программа рассчитывает и позволяет выводить так называемые мигрированные сейсмограммы, полученные для разных скоростных кривых из рассчитанного набора, по которым можно визуально оценивать степень достоверности полученных данных о скоростях. Входные параметры процедуры адаптированы к средствам СЦС-5, что позволяет получить гибкий инструмент измерения сейсмических скоростей для произвольных сред, как правило, более надежный, чем стандартный анализ скоростей ОГТ.

2. Последовательное уточнение глубинно-скоростной модели среды на основе программы детального погоризонтного анализа миграционных скоростей. Программа рассчитывает горизонтальные спектры средних или интервальных скоростей в полосе (по $z(x)$ или по $t(x)$) вдоль заданного сейсмического горизонта. По спектрам определяется оптимальная скоростная кривая $V(x)$ для данного горизонта и одновременно уточняется геометрия этого горизонта. Программа осуществляет процедуру миграции сейсмограмм в заданной полосе с различными скоростями из произвольно задаваемого диапазона с произвольным шагом.

Уточнение геометрии сейсмических горизонтов может проводиться по разрезу, полученному путем миграции сейсмограмм по или априорно заданной скоростной модели среды, или по модели, сформированной программой вертикального скоростного анализа. Результатом работы программы погоризонтного анализа миграционных скоростей являются уточненные файлы описания горизонта и скорости вдоль этого горизонта.

3. Вспомогательная процедура миграции в некоторой полосе вдоль заданного горизонта со

сглаженной оптимальной скоростью позволяет корректировать скоростные кривые в случае неоднозначности в определении скоростей по горизонтальным спектрам и готовит на диске специальный файл описания полученной глубинно-скоростной модели среды для последующей визуализации и окончательной 2D-миграции исходных сейсмограмм. Применяя программы погоризонтного скоростного анализа и "миграции в полосе" последовательно к ряду горизонтов, можно получить детальный глубинно-скоростной разрез средних или пластовых скоростей в слоях и их изменения вдоль горизонтов. Это особенно целесообразно при глубокой интерпретации сейсмических данных в горизонтально-неоднородных средах. На рис. 1г представлен пример такого детального скоростного анализа для 5-ти горизонтов с расчетом интервальной скорости между ними. Изменения интервальной скорости продольных волн вдоль целевого отражающего горизонта, могут быть обусловлены латеральными изменениями упругих свойств пласта, в том числе его газо- и нефтенасыщенностью. Процедуры скоростного анализа позволяют работать как во временном, так и в глубинном представлении данных.

4. Программа миграции до суммирования осуществляет 2D-миграцию исходных сейсмограмм, для неоднородно-слоистой модели среды с

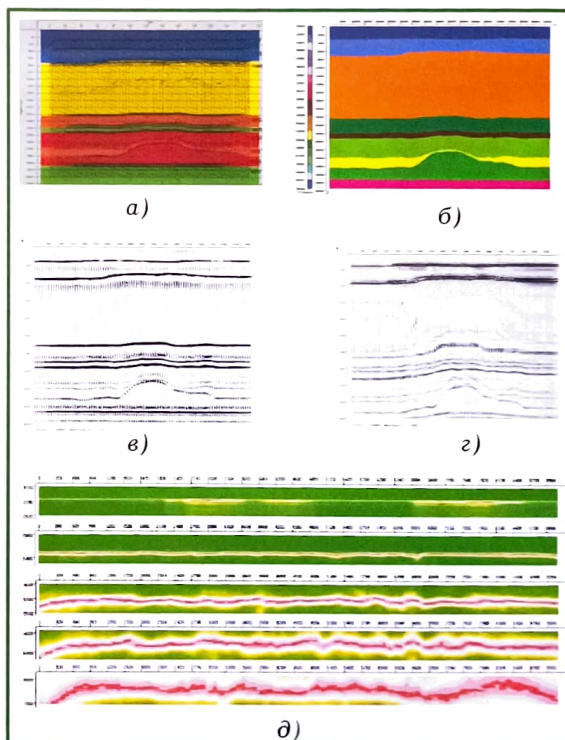


Рис.1

а) Исходная глубинно-скоростная модель (показана цветом) и миграция до суммирования (смоделированных сейсмограмм для такой модели среды), полученные с помощью пакета Промакс. Моделирование сейсмограмм было осуществлено конечно-разностным методом в том же пакете. б) Глубинно-скоростная модель $V(z)$, полученные по смоделированным исходным сейсмограммам на основе рассматриваемой технологии MIGS-2D в) Глубинная миграция до суммирования (в), смоделированных исходных сейсмограмм г) Миграция временного разреза ОГТ, для рассматриваемой модели. д) Горизонтальные спектры интервальных скоростей. (вертикальная ось скорость), полученные по технологии MIGS-2D для 5 слоев модели



ИННОВАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ

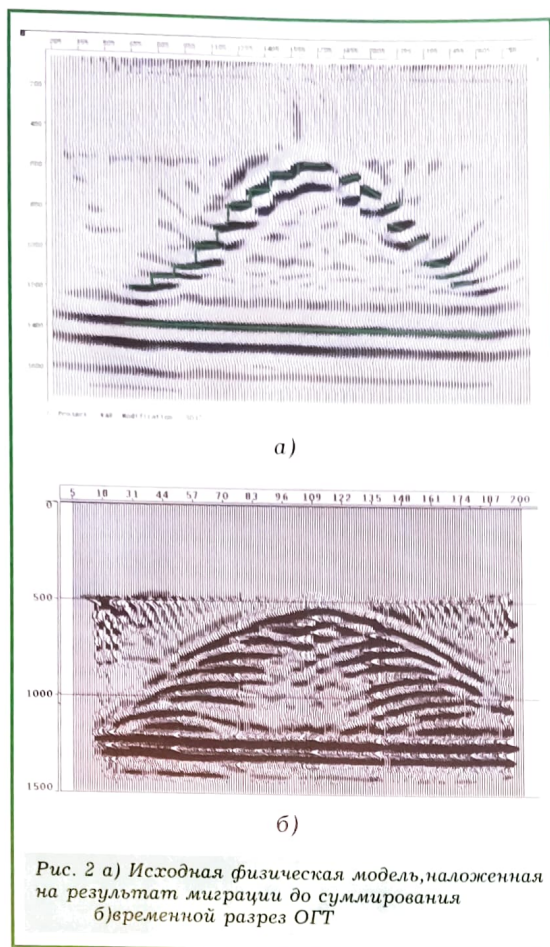


Рис. 2 а) Исходная физическая модель, наложенная на результат миграции до суммирования б) временной разрез ОГТ

произвольными наклонами и крутизной границ. Программа может использовать в качестве входных данных не только указанный специальный файл скоростной модели среды, полученный как результат программ детального погоризонтного миграционного скоростного анализа, но также скоростные кривые, полученные по программе вертикального миграционного скоростного анализа, и произвольные скоростные кривые, записанные в задании (интервальные или средние).

На основе четырех вышеописанных процедур возможно построение глубинно-скоростной модели среды с произвольной степенью детализации и использование полученных данных процедурой окончательной миграции до суммирования. Результат миграции до суммирования с уточненной скоростью по синтетическим сейсмограммам для 8-слойной модели представлен на рис. 1. При его рассмотрении, можно сделать вывод о хорошем совпадении построенной модели (рис.1б) заданной (рис.1а). Нужно также отметить принципиально другой результат корректной миграции до суммирования по построенной ГСМ (рис.1в) по сравнению с миграцией временного разреза ОГТ (рис. 1г) для той же глубинно-скоростной модели.

На рис. 2 продемонстрирован результат глубинной миграции до суммирования для плоской физической 2D-модели среды в виде купола, составленного из набора упорядоченных и неупорядоченных среднemasштабных элементов, подовшу которого, образует горизонтальная граница. Преимущество обработки данных по технологии миграции до суммирования (рис. 2а) по сравнению с временным разрезом ОГТ (рис. 2б) очевидно. Следует лишь, отметить, что на изображении более глубоко расположенных

склонов куполовидной структуры субвертикально ориентированные элементы не проявились, что естественно, т.к. эти области недостаточно освещены системой наблюдений, использованных при физическом моделировании.

На рис. 3-6 показаны результаты обработки полевых материалов, полученных на одном из нефтяных месторождений в Поволжье. Отражения от осадочного комплекса прослеживаются до $T_0 = 0,9 - 1,0$ сек. Он подразделяется на ряд толщ: 1. Нижняя терригенная толща объединяет отложения верхнего протерозоя, эйфельского и живетского ярусов среднего девона, пашинского и кыновского горизонтов франского яруса верхнего девона. 2. Нижняя карбонатная толща включает отложения саргаевского, семидукского горизонтов нижнефранского подъяруса, фаменского яруса верхнего девона. 3. Средняя карбонатно-терригенная толща включает карбонатно-терригенные отложения турненского яруса и терригенную пачку малиновского и яснополянского надгоризонтов нижнего карбона. 4. Средняя карбонатная толща представлена отложениями окского и серпуховского надгоризонтов нижнего карбона и банкирского яруса среднего карбона. 5. Пачка верейского горизонта. 6. Верхняя сульфатно-карбонатная толща объединяет каширский, подольский, мячковский горизонты среднего карбона, верхний карбон, ассельский, сакмарский, артинский, кунгурский ярусы нижней перми. Опорные отражающие границы на временном разрезе представлены:

- отражающий горизонт "Д", $T_0 = 0,86 - 1,01$ сек, приурочен к кровле нижней терригенной толще пашинского и кыновского горизонтов верхнего девона;
- отражающий горизонт "У", $T_0 = 0,56 - 0,69$ сек, приурочен к кровле средней терригенной пачки малиновского и яснополянского надгоризонтов нижнего карбона;
- отражающий горизонт "В", $T_0 = 0,43 - 0,55$ сек, приурочен к кровле верейского горизонта, сложенный в нижней части преимущественно карбонатными отложениями, в верхней - терригенно-карбонатными отложениями;
- отражающий горизонт "К", $T_0 = 0,25 - 0,27$ сек, является размытой поверхностью кровли нижнепермских отложений.

Промышленная нефтеносность установлена в отложениях серпуховских отложений. Эффективная мощность нефтемещающих известняков в среднем составляет 6 метров. Залежи нефти в башкирско-каширских отложениях имеют неболь-

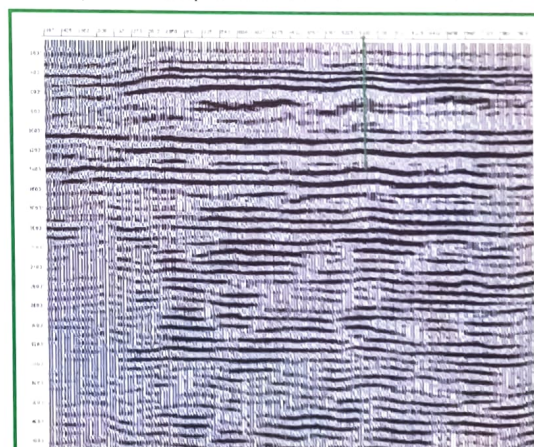


Рис. 3 Глубинный (а) разрез миграции до суммирования для скоростной модели, представленной на рис. 6 (а) сопоставлении с временным разрезом (б)

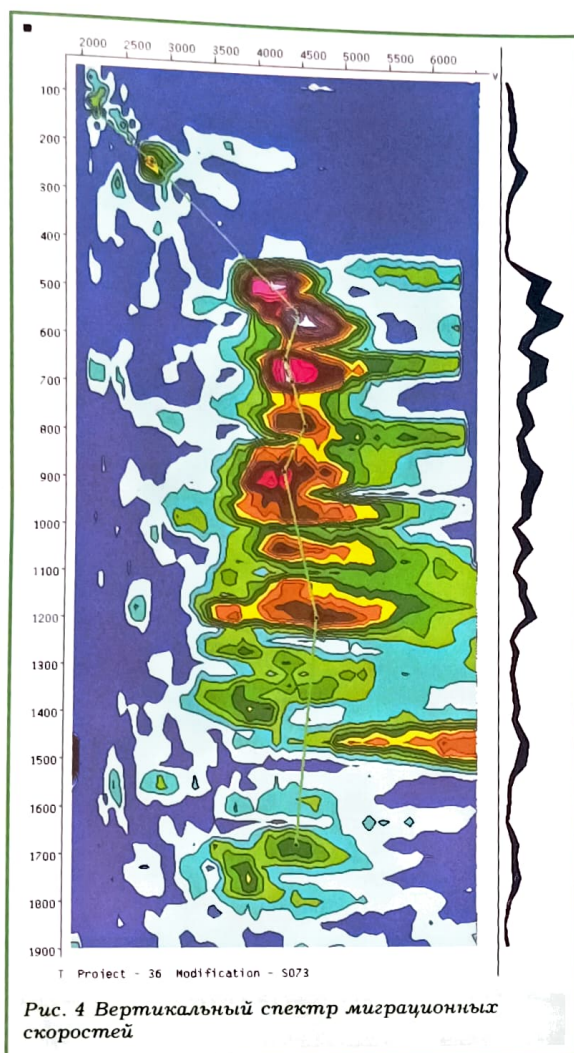
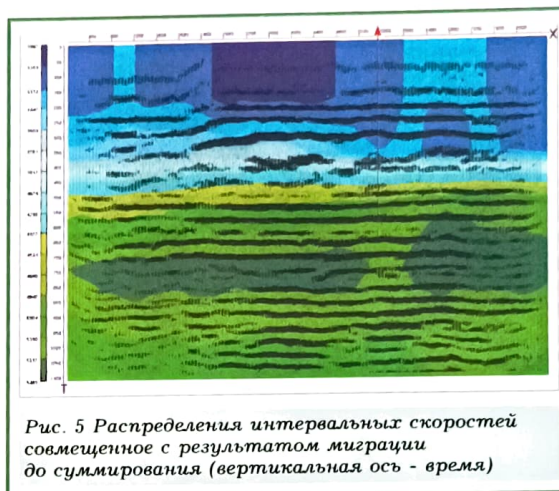


Рис. 4 Вертикальный спектр миграционных скоростей



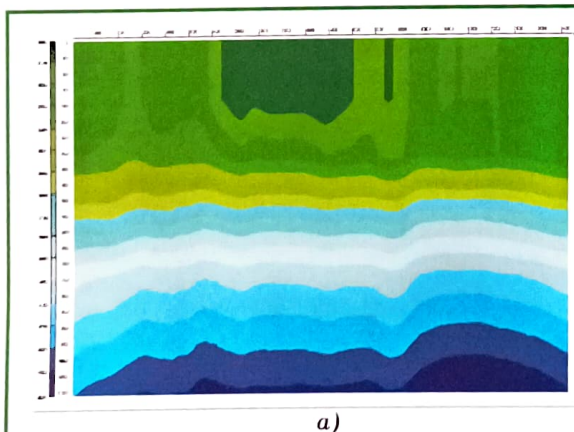
отражающих границах. Построенная модель среды и результат глубинной миграции до суммирования являются основой для геологической интерпретации и оценок литологических и фильтрационно-емкостных свойств.

Дальнейшее развитие программно-алгоритмического комплекса предусматривает получение новых параметров и характеристик для оценки упруго-деформационных свойств среды.

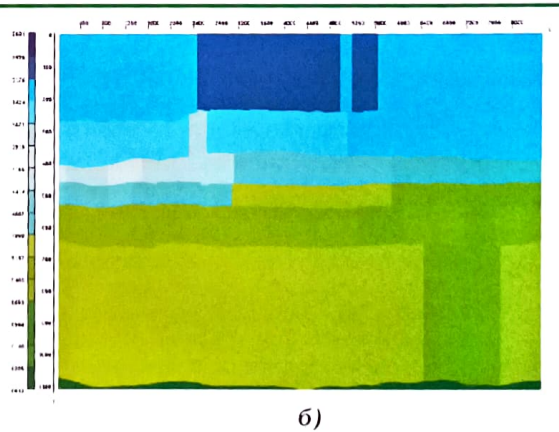
Авторы признательны Васильеву С.А. за ценные советы при разработке данной технологии, а также Караеву Н.А., Крайнову И.Н. за предоставление данных: физического моделирования, синтетических сейсмограмм ОПВ, данных полевых наблюдений, использованных для тестирования.

Литература

1. Васильев С.А., 1987, Принципы изучения свойств неоднородной среды по ее сейсмическим изображением: Геология и геофизика, № 4, "Наука", Новосибирск.
2. Попов В.В., Ларин Г.В., 2002, Пакет миграционных преобразований исходных сейсмограмм: Разведка и охрана недр, № 3-4.
3. Гогоненков Г.Н., 2002, Современное состояние системы обработки сейсмических данных СЦС-5, Геофизика, № 3.
4. Ларин Г.В., Попов В.В., 2003, Технология построения глубинно-скоростной модели среды на основе послойной миграции до суммирования. Тезисы международной конференции SEG-2003.



а)



б)

Рис. 6 а) послойная модель интервальных скоростей

б) разрез средних скоростей

ИННОВАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ