Аналитический обзор книги «Subsurface Image and Estimation of Medium Parameters in Seismic Exploration»

Рассмотрение структуры книги, её предисловий, введения, ключевых глав, заключения и приложений позволяет сделать достаточно определённый вывод: это не обычный учебник по сейсморазведке и не просто расширенное второе издание ранее опубликованной работы. По существу, книга представляет собой авторскую научную монографию, в которой стандартная теория служит основой для изложения целостной системы взглядов, методов и собственных результатов автора.

Главное отличие книги

Наиболее сильной особенностью книги является единая концептуальная линия:

изображение → фокусирование → кинематика волнового поля → динамика волнового поля → параметры среды → интерпретация → алгоритмы и программы.

Именно эта последовательность отличает книгу от многих учебников и монографий, в которых migration, velocity analysis, tomography, interpretation, attenuation и другие направления рассматриваются преимущественно как отдельные технологии.

Исходным физическим понятием в книге является изображение. Метод общей глубинной точки (CDP) трактуется с позиций геометрической теории изображений и по аналогии с оптикой: цифровое суммирование рассматривается как аналог фокусировки, осуществляемой оптической системой. Далее эта идея последовательно развивается при рассмотрении производных поля времён, теоремы NIP, multifocusing, миграции, а затем обратных кинематических и динамических задач.

Таким образом, в книге формируется действительно узнаваемая и внутренне связанная научная концепция.

Второе существенное отличие — поле времён и его производные

Глава 2 занимает в общей концепции книги значительно более фундаментальное место, чем это обычно бывает в учебной литературе. Через производные поля времён связываются геометрия волнового фронта, параметры изображения, stacking velocity, теорема NIP и последующее решение обратных задач.

Важно, что значение этого направления отмечается и в откликах на книгу. М. И. Протасов пишет в приложении, что производным поля времён в крупных учебниках и монографиях уделяется очень мало внимания и что именно эта часть книги имеет особое значение. Его единственное существенное пожелание состоит в том, чтобы привести ещё больше практического материала, связанного с первыми и вторыми производными поля времён.

Эту часть книги можно рассматривать как одно из её главных конкурентных преимуществ при представлении западному издателю.

Третья особенность — авторские альтернативы известным методам

Книга не ограничивается изложением CRS, MF, migration и других известных подходов. В ней последовательно ставится вопрос: что ограничивает данный метод и можно ли построить другой подход, свободный от этих ограничений?

- Kinematic Filtering и Spherical Mirror;
- решение уравнения Линна;
- выделение дифрагированных волн;

- seismic-stratigraphic stacking;
- kinematic seismograms;
- demigration;
- inverse dynamic problem для вязкоупругой среды;
- RGB / “color spot”;
- автоматическое выделение ловушек.

Особый интерес представляет метод SSS. В MF и CRS функция суммирования локально является одноэкстремальной, тогда как в SSS сначала определяются локальные наклоны, а затем на их основе строится полная функция времени, которая может быть в том числе многоэкстремальной. Это уже не просто новая реализация известного метода, а иной способ представления кинематики волнового поля.

Четвёртая особенность — глава 11

С научной точки зрения глава 11, вероятно, является наиболее необычной частью второго издания.

Вместо традиционной схемы FWI — выбора модели, многократного решения прямой задачи и последующей минимизации невязки — непосредственно для волнового уравнения ставится обратная коэффициентная задача. Предлагается локальное неитерационное двухэтапное восстановление параметров: на первом этапе определяется упругий параметр, на втором — время релаксации.

Кроме того, рассматривается весьма нетрадиционный результат: в высокочастотной асимптотике кажущаяся частота и временное затухание сокращаются из конечных формул, тогда как параметры среды определяются через медленность и пространственное изменение амплитуды.

В выполненных модельных экспериментах заявленная точность составляет 99,99 % для $v_p^{\,2}$ и 99,96 % для α_R в рассмотренном диапазоне параметров.

При представлении книги издателю эту главу целесообразно рассматривать как одну из центральных научных новаций всей работы, а не просто как ещё одну главу общего курса.

Пятая особенность — теория непосредственно связана с программной реализацией

Это одно из заметных достоинств книги. Практически все основные идеи доведены до уровня алгоритмов и реализованы в системе CubeTechnology.

Приложение В представляет собой не формальное упоминание программного обеспечения, а достаточно обширное описание реально созданной исследовательской системы. В нём представлены база данных, visualization, spectral analysis, Prony analysis, multifocusing, SSS, RGB, velocity analysis, migration/demigration, tomography, dynamic analysis, modeling, trap calculation и programming manual.

Вся графика книги также создана с использованием этой системы.

Поэтому книга занимает достаточно редкое промежуточное положение между научной монографией, учебным изданием и документацией реально реализованной исследовательской системы.

Ещё одна важная отличительная черта

Книга сохраняет историю советской и российской школы сейсмики не как формальную дань прошлому, а как органическую часть развития рассматриваемых идей.

Пузырёв, Гольдин, Алексеев, Клем-Мусатов, Черняк и другие исследователи упоминаются именно в связи с конкретными научными направлениями. В предисловии научная биография автора непосредственно связывается с этой школой. В одной из рецензий книга также характеризуется как продолжение традиций Новосибирской школы сейсмики, основанной Пузырёвым, Гольдиным и Алексеевым.

Для английского издания это следует рассматривать не как недостаток, а, напротив, как достоинство: западный читатель действительно сравнительно мало знаком с этим значительным пластом научной литературы.

Что представляется наиболее удачным

Особенно удачна глава 1. Один из рецензентов специально отмечает ясность её изложения. Оптическая аналогия позволяет объяснить CDP не как последовательность операций NMO–velocity analysis–stack, а как физическую процедуру формирования изображения.

Удачна и общая логика изложения материала:

физический смысл → математика → алгоритм → реальные или модельные примеры.

Именно это достоинство отметил Walt Lynn: учебники нередко ограничиваются изложением теории, тогда как в данной книге теория непосредственно сочетается с практическими данными.

Сильной стороной книги является и то, что автор не пытается создать впечатление окончательной решённости всех рассматриваемых проблем. Например, при определении эффективной толщины прямо отмечается, что результат зависит от полосы частот, стабильности импульса, качества обработки, интерференции и скважинной калибровки и поэтому должен рассматриваться как статистически калиброванная оценка, а не как непосредственное измерение толщины.

Такой подход соответствует корректному научному стилю изложения.

Замечания и вопросы, требующие уточнения

1. Формулировка в главе 11

На стр. 155 после формулы (2.2.11) фактически утверждается:

поскольку уравнение не содержит α_R, волновое поле $u(x,t)$, удовлетворяющее этому уравнению, не зависит от α_R.

После этого делается необходимый вывод:

$$\frac{\partial M(x,\alpha_R)}{\partial \alpha_R} = 0$$

Первое утверждение представляется слишком сильным. Само наблюдаемое вязкоупругое волновое поле, конечно, может зависеть от αR.

Из формулы (2.2.11) следует более точное утверждение: при фиксированном наблюдаемом поле $u(x,t)$ уравнение, используемое для восстановления M, не содержит α_R; следовательно, восстановленное значение M не зависит от выбранного значения α_R.

Это принципиальное различие.

При этом приведённая ниже сноска уже совершенно правильно отмечает, что такая операция: “does not change the physical nature of the recorded viscoelastic field”.

Таким образом, вопрос касается не изменения математического вывода, а более точной формулировки его физического смысла.

2. Утверждение о частоте, затухании и Q следует сформулировать с более точным указанием условий

В существующем тексте формулировка местами может восприниматься почти как общий физический вывод:

“direct determination of relaxation time from the frequency, attenuation, or quality factor ... is not sufficiently justified.”

Однако внутри рассматриваемого вывода смысл более конкретен: в данной модели, при принятой асимптотике и в рассматриваемом диапазоне частот соответствующие величины алгебраически сокращаются.

Поэтому целесообразно всюду подчёркивать условие:

“within the present inverse formulation and under the adopted seismic-frequency approximation...”

Такое уточнение позволяет избежать ненужного противопоставления многочисленным исследованиям, в которых Q оценивается по затуханию.

Полученный результат тогда не отрицает существующую литературу, а формулирует более конкретное положение: Q, Ω и γ не являются независимыми носителями информации о τ_R именно в полученном решении обратной коэффициентной задачи.

В такой форме результат становится логически более строгим и менее уязвимым для возможных возражений.

3. Проверка результатов главы 11 пока имеет преимущественно модельный характер

В самой книге это обстоятельство изложено достаточно корректно: используются synthetic VSP wavefields, восстанавливаются границы, в том числе тонкий 10-метровый слой, и исследуется точность решения.

Кроме того, правильно отмечается, что физическая связь τ_R с пористостью, проницаемостью, свойствами флюида и другими петрофизическими характеристиками требует специальных исследований.

Эту оговорку целесообразно сохранить и подчеркнуть. Для серьёзного научного издателя она скорее усиливает работу, поскольку точно определяет достигнутый уровень результата:

“mathematical and numerical feasibility is established; petrophysical interpretation and field validation remain subjects for further study.”

Иными словами, математическая и численная реализуемость метода показана, тогда как его петрофизическая интерпретация и полномасштабная проверка на полевых данных остаются предметом дальнейших исследований.

4. Утверждение о CDP как частном случае migration требует точной формулировки

В книге показано, что в рассматриваемой схеме Kirchhoff при стремлении размера апертуры к нулю получается CDP-изображение.

Это представляет собой интересную объединяющую идею.

Однако утверждение

“The CDP method is a particular case of migration”

может быть воспринято частью западных геофизиков как терминологически спорное.

Более точная формулировка:

“Within the unified focusing formulation used in this book, the CDP imaging operator appears as a limiting case of Kirchhoff migration when the migration aperture tends to zero.”

При такой формулировке речь идёт уже не об историческом или терминологическом переопределении метода CDP, а о строго сформулированном математическом результате в рамках принятой в книге единой схемы фокусирования.

5. Аналогичного уточнения требует утверждение о зеркальной границе и одном источнике

В первой главе говорится, что для идеально зеркальной поверхности из каждой её точки выходит только один луч, поэтому при использовании одного источника невозможно сформировать изображение самой поверхности; multifold coverage искусственно создаёт необходимое множество лучей.

Это интересная и необычная трактовка, но именно поэтому она требует особенно точного объяснения.

Специалист по migration может возразить:

«Но single-shot migration позволяет получить изображение отражателя».

Ответ на это возражение фактически содержится в принятом в книге определении: используется строгое понятие изображения точки через фокусируемый пучок лучей, а не более широкое традиционное употребление термина imaging в сейсморазведке.

Это различие желательно сформулировать непосредственно в тексте. Тогда потенциальное терминологическое возражение становится дополнительным аргументом в пользу оригинальности предлагаемой концепции.

6. Глава RGB представляет интерес, однако формулировка о «физической природе цвета» требует осторожности

В книге отмечается, что обычное окрашивание сейсмического изображения по амплитуде не связано с волновой природой цвета, тогда как физически цвет определяется частотой; далее интенсивности RGB-компонент задаются амплитудами соответствующих частотных полос.

Сам предлагаемый метод понятен и представляет интерес.

Однако здесь желательно отчётливо разграничить два аспекта:

- физическую аналогию с оптической частотой;
- RGB-атрибутное представление спектральных компонент, в котором амплитуда определяет интенсивность соответствующего цветового канала.

Без такого разграничения обсуждение может сместиться в сторону физиологии цветового восприятия, спектральных функций чувствительности глаза, особенностей display RGB и других вопросов, непосредственно не относящихся к предлагаемому сейсмическому методу.

С осторожностью следует употреблять и выражение direct hydrocarbon detection. Предпочтительно подчеркнуть, что “color spot” представляет собой seismic indicator / attribute associated with probable hydrocarbon accumulations, а не уникальное физическое доказательство наличия углеводородов.

Итоговая оценка

Особенность книги можно сформулировать следующим образом:

Это не энциклопедический обзор современной сейсморазведки. Это авторская математико-физическая концепция сейсмического изображения и оценки параметров среды, выросшая из Новосибирской школы сейсмики и развитая автором от теоретических формул до алгоритмов, программной реализации и обработки реальных данных.

Именно в таком качестве книгу целесообразно представлять потенциальному издателю.

Нет необходимости конкурировать с изданиями типа «всё о современной seismic processing»: не в этом заключается её основное достоинство. Сильная сторона книги состоит в другом — в необычной концептуальной целостности, авторских результатах, представлении российской научной традиции, которая сравнительно мало известна западному читателю, и в редком сочетании математической теории с реально реализованной программной технологией.