

Статья из архива

Все еще остается проделать длинный путь. Still a long way to go

Проф. А.А. 'Guus' Berkhout из Дельфтского университета Технологий, один из наиболее признанных ученых в области наук о Земле из своего поколения, размышляет о злободневности этой статьи 1989 года, первоначально представленная как обращение к 50-й ежегодной встрече Европейской Ассоциации Геофизиков -Разведчиков (EAGE) в Гааге в 1988 г.

Эта статья была написана в то время, когда наука о Земле и инженерия были абсолютно разными мирами. Знание друг о друге и признание вклада каждой из них были несущественными. Даже более того, регистрация, обработка и интерпретация все еще функционировали как изолированные «бункеры» в геофизических отделах нефтегазовых организаций. В это время, регистрация фокусировалась, прежде всего, на инструментах и стоимости; сейсмическая обработка основывалась на концепциях временной области и глубинная миграция не была принята. Более того, по сравнению с сегодняшним днем, мощность компьютеров (время цикла, объем памяти) была очень скромная.

Целью статьи было ознакомление индустрии с тем, что интеграция была в частности вопросом совместного пользования информацией в много-профильных командах, которые покрывают весь диапазон: от геонаук до инженерии. Это было крайне амбициозной задачей в 1980г.

Также было намерение показать, что интеграция является вопросом коммуникации и требует многоуровневого языка. Знание каждой дисциплины, будучи концептуальным, на высшем уровне, представляется только основой; детали спрятаны в низших уровнях. Откровение было, и все еще заключается в том, что коммуникация между различными дисциплинами должно происходить на высших уровнях; внедрение требует специалистов, которые будут иметь дело с деталями на низших уровнях каждой дисциплины. WRW - такая многоуровневая модель, которая показывает не только соотношение между регистрацией, обработкой и интерпретацией в сейсмическом поле, но также позволяет геологам и инженерам понимать базис построения сейсмических изображений, не переходя к деталям алгоритма.

Сегодня, технологии информации и коммуникации разрушили практические барьеры совместного пользования информацией. Хотя, междисциплинарный граф работ по большей части, остается линейным. Мы принимаем то, что имеем. Это означает, что все еще не хватает циклов междисциплинарной обратной связи. В результате вдоль цепочки добавленной стоимости E&P накапливаются ошибки. Все еще остается проделать длинный путь.

Ключевые вопросы интегрированной сейсморазведки. Key Issues in integrated seismic exploration¹

A.J. Berkhout

Полная сейсмическая инверсия, т.е. преобразование сейсмических записей ОПВ в геологические параметры разреза, может выполняться тремя отдельными модулями обработки. В первом модуле поверхностная информация, т.е. входной сигнал источника и выходной сигнал детектора, соответственно, преобразуются в поле нисходящих волн источника и поле отраженных восходящих волн на поверхности. Далее, влияние импульса источника и отражательная способность поверхности устраняются из волновых полей. Во втором модуле инверсии, поле волн источника и поле отраженных волн экстраполируются с поверхности вглубь разреза, и для каждой точки грида разреза (глубинной точки) рассчитывается отражающая способность. В конце концов, в третьем модуле, информация об отражающей способности трансформируется в карты скоростей и плотностей, и по выбору, в параметры породы и пор. Последний этап возможен, только в случае, когда доступно большое число несейсмической информации. Это означает, что, в частности для последнего модуля инверсии, требуется интегрированный подход.

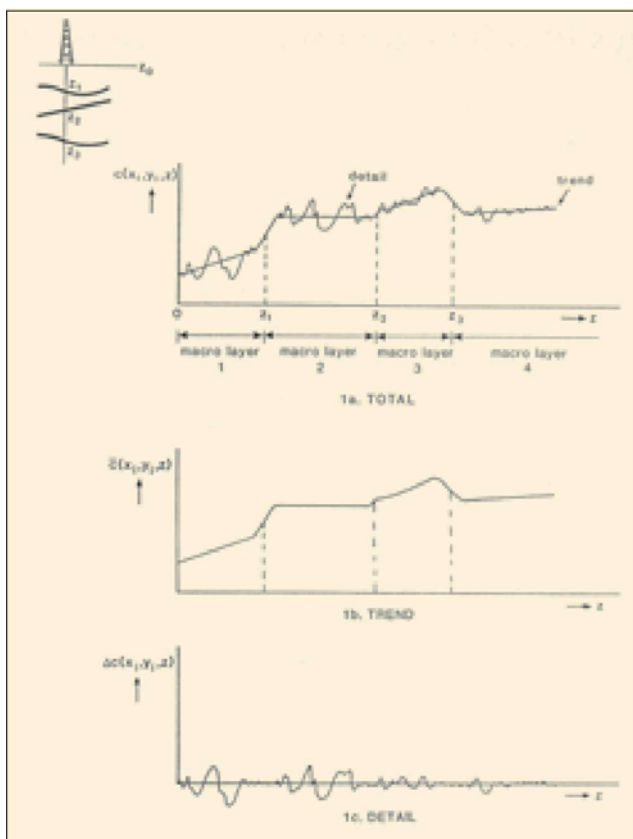


Рисунок 1 Описание разреза в терминах тренда и деталей.

Дан обзор требований к системам управления информацией отрасли разведки и разработки (E&P). Можно поспорить с тем, что быстрая в обращении, база данных с одной моделью – необходимое условие для

управления всеми нужными данными разведки и добычи.

Введение

Сегодня, геофизик в нефтяной отрасли – критичный и требовательный пользователь технологий. Он более не заинтересован в технологиях 1970х. Конкурентные решения должны включать в себя прогресс, который был достигнут за последнее десятилетие.

В общем, основные технологические достижения за последние несколько лет могут охарактеризоваться следующими пятью пунктами:

■ Время и глубина

В настоящее время признано, что технологии, основанные на макро-модели ('глубинная технология') абсолютно необходимы для преобразования сейсмических измерения во временной области на поверхности в неискаженную, грамотно позиционированную геологическую информацию о разрезе. Алгоритмы, основанные на макро-модели, готовы; общепризнанное применение просто затягивается ввиду ожидания более быстрых, экономических систем компьютеров.

■ 2D и 3D

Исследования трехмерного (3D) разреза с помощью двух-мерных (2D) методик трудно и обычно неудовлетворительно. Скоро станет распространенной практикой избегать традиционные плотные схемы наблюдений сейсмических профилей 2D и регистрировать данные 3D непосредственно вслед за рекогносцировочной сейсмической съемкой. Крайне впечатляюще видеть, что хорошо проведенные, 3D съемки могут раскрыть богатство стратиграфической информации помимо точной структурной информации. В некоторых проектах 3D, на глубинных слайсах видны изумительно похожие на геологические карты поверхностей структуры, например, с реками и долинами, которые существовали миллионы лет назад.

■ ОСТ и ОГТ

До настоящего времени, суммирование по общей средней точке (ОСТ) было очень ценным аппаратом сейсмической обработки для улучшения соотношения сигнал-шум и преобразования данных. Однако, ясно, что суммирование по ОСТ имеет существенные недостатки, в частности в ситуациях, когда регистрация данных отличается нерегулярной геометрией и/или имеются сложные структуры в разрезе. Можно утверждать, что если наша индустрия не обратится к альтернативам по существу «неустойчивым» процедурам 'бинирования' и 'суммирования по ОСТ', будущие улучшения качества результатов сейсмической обработки будут решающими. Автор считает, что нерегулярные данные нельзя адаптировать к регулярным операторам, а как раз наоборот. Вдобавок, суммирование должно выполняться не перед тем как производится сейсмическая инверсия, а во время ее выполнения. Это означает истинное суммирование по общей глубинной точке (ОГТ).

¹Лекция по приглашению, прочитанная на 50ой встрече EAEG, Гаага, июнь 1988.

²Faculty of Applied Physics, Delft University of Technology, PO Box 5046, 2600 GA Delft, The Netherlands.

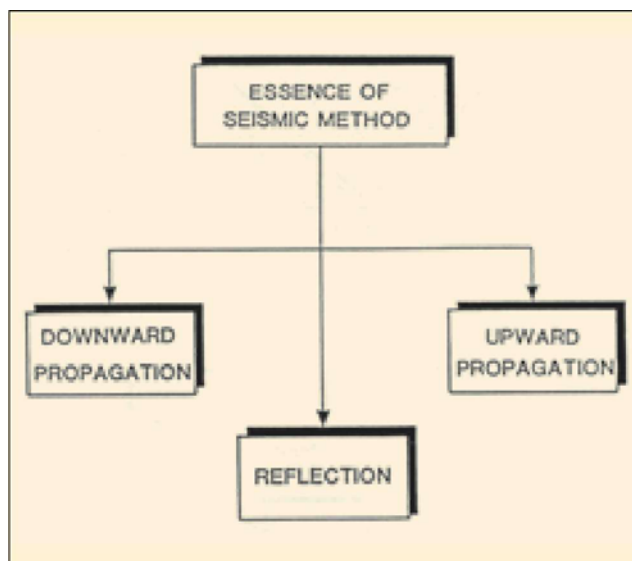


Рисунок 2 Сейсмический отклик определяется свойствами разреза при распространении и отражении.

■ Акустический и упругий

Сейсмический отклик содержит существенно больше информации, чем используется в современных методиках обработки, особенно для наземных данных. Можно показать, что поперечные волны важны для инверсии в литологические свойства. Таким образом, можно предсказать, что при регистрации наземных данных увеличение числа каналов будет использоваться для упрощения многокомпонентных измерений. В Дельфтском университете была разработана методика разложения на основе волновой теории для разделения многокомпонентных измерений на поверхности на чисто продольные и поперечные волны. Далеко идущими последствиями этого является то, что после разложения обработку данных упругих волн можно выполнять в промышленных масштабах с помощью существующих программ скалярной обработки.

■ Рабочая станция и управление информацией

В настоящее время намечается ясная тенденция интегрирования одиночных рабочих станций и универсальных компьютеров в продвинутые компьютерные сети; следовательно, сейсмическая рабочая станция постепенно эволюционирует в мощный интерфейс пользователя для интерактивных методов и интегрированных приложений. Однако все более часто осознают, что истинно интегрированный подход может использоваться только если существует база данных E&P и скоростная система управления базой данных. Вне всякого сомнения управление информацией будет ключевым вопросом следующего десятилетия.

Таким образом, с одной стороны в индустрии сейсморазведки мы можем наблюдать тренд в сторону технического совершенствования, тогда как с другой стороны мы осознаем, что конечные решения нельзя получить только из сейсмической информации. Интеграция с другими источниками геологической информации будет необходима для получения наилучших из возможных моделей строения разреза.

Описание разреза

Если была пробурена скважина и были выполнены измерения в скважине, то на Рис. 1а показан типичный результат в обозначениях скорости. Интересный и важный анализ кривых измерений (график скорости) может рассматриваться как наложения тренда и деталей. Тренд (рис. 1b) дает информацию о свойствах сжимаемости, зависящих от глубины. Детали (Рис. 1c) дают информацию о различных свойствах породы и пор отдельных геологических слоев (в пределах разрешения кривой скорости). Используя информацию о тренде, можно разделить разрез на так называемые макро-слои, где каждый макро-слой можно рассматривать как пакку геологически связанных слоев с одними и теми же свойствами сжимаемости. Разделение между трендом и деталями, или макро слоистость и тонкая слоистость, должна играть центральную роль в сейсмической инверсии.

Сущность сейсмического метода определяется эффектами распространения и отражения (Рис. 2). Поле источника распространяется вниз в разрез, отражается на границах слоев, и поле отраженных волн распространяется обратно на поверхность. Таким образом, сейсмический отклик, который мы измеряем на поверхности, представляет собой смесь информации о распространении и отражении. Главная часть обработки сейсмических данных посвящена устранению эффектов распространения из сейсмического отклика, с целью корректного восстановления истинной амплитуды отражения. Возвращаясь к ранее упомянутому описанию

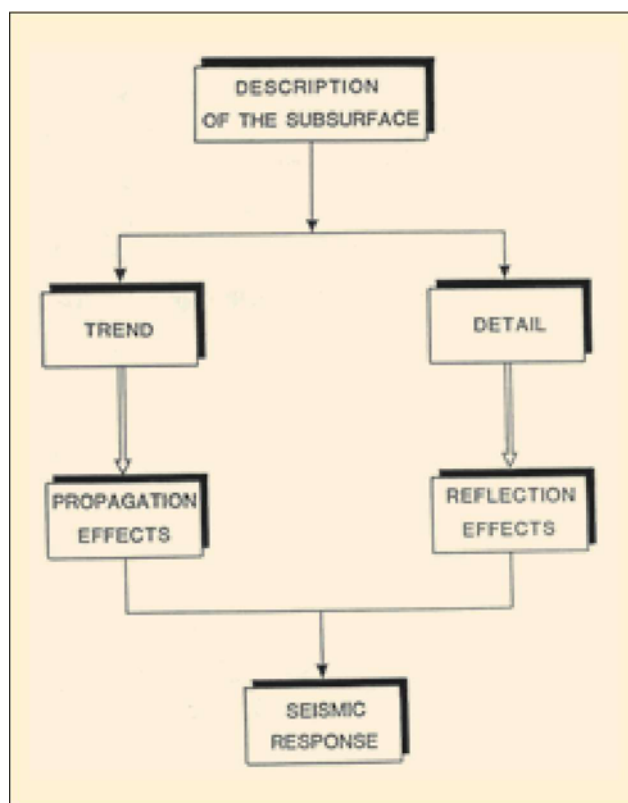


Рисунок 3 Макро- и тонкая слоистость разреза определяют эффекты распространения и отражения в сейсмическом отклике.

разреза, мы можем сделать важное заявление (Рис. 3) о том, что распространение определяется трендом разреза (макро слоистость), а отражение определяется деталями разреза (тонкая слоистость). Для устранения влияния распространения, должна быть доступна макромодель разреза. Или иными словами, обработка сейсмических данных должна быть основана на макромоделях разреза. Это означает, что оценка макро моделей должна быть ключевым вопросом индустрии сейсморазведки.

Описание сейсмических данных

Первичная информация на границе ($z = z_0$) от неоднородного разреза может быть представлена в виде следующего элегантного выражения: (1a)

$$\mathbf{P}^-(z_0) = \sum_m \mathbf{W}^-(z_0, z_m) \mathbf{R}^+(z_m) \mathbf{S}^+(z_m)$$

с

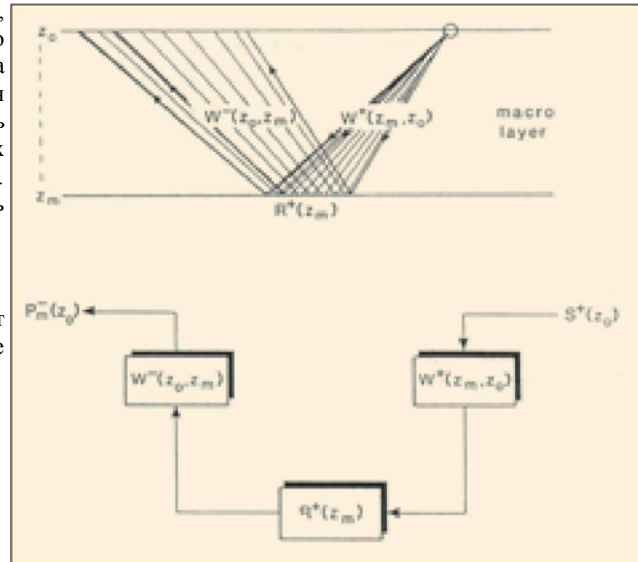


Рисунок 4 распространение и отражение для одного точечного источника (1b) и одной отражающей границы, без учета отражения на поверхности.

$$\mathbf{S}^+(z_m) = \mathbf{W}^+(z_m, z_0) \mathbf{S}^+(z_0)$$

где $\mathbf{S}^+(z_0)$ представляет поле волн источника на границе, \mathbf{W}^+ представляет собой нисходящее распространение от z_0 до z_m .

$\mathbf{S}^+(z_m, z_0)$ представляет собой поле волн нисходящего источника в z_m .

$\mathbf{R}^+(z_m)$ представляет собой оператор отражения в z_m для нисходящих волн,

$\mathbf{W}^-(z_0, z_m)$ представляет собой оператор восходящего распространения от z_m к z_0 , и

$\mathbf{P}^-(z_0)$ представляет собой поле восходящих волн на границе.

Операторы распространения волн $\mathbf{W}^+(z_m, z_0)$ и $\mathbf{W}^-(z_0, z_m)$ зависят от макро свойств между z_0 и z_m . Оператор отражения $\mathbf{R}^+(z_m)$ зависит от детальных свойств в z_m . На рисунке 4 показан (1) один точечный источник и одна отражающая граница. Математически, операторы \mathbf{W}^+ , \mathbf{R}^+ и \mathbf{W}^- представляют собой матрицы, учитывающих любой тип вертикальных и латеральных измерений в разрезе.

$\mathbf{P}^-(z_0)$ представляет собой хорошо известную матрицу с данными,

$$\mathbf{P}^-(z_0) = \mathbf{S}^-(z_0) + \mathbf{R}^-(z_0) \mathbf{P}^-(z_0)$$

содержащую все записи ОПВ. Более детально читатель может ознакомиться с формулой в работе Berkhout (1985, глава VI).

$$\mathbf{P}^-(z_0) = \sum_m \mathbf{W}^-(z_0, z_m) \mathbf{R}^+(z_m) \mathbf{P}^+(z_m)$$

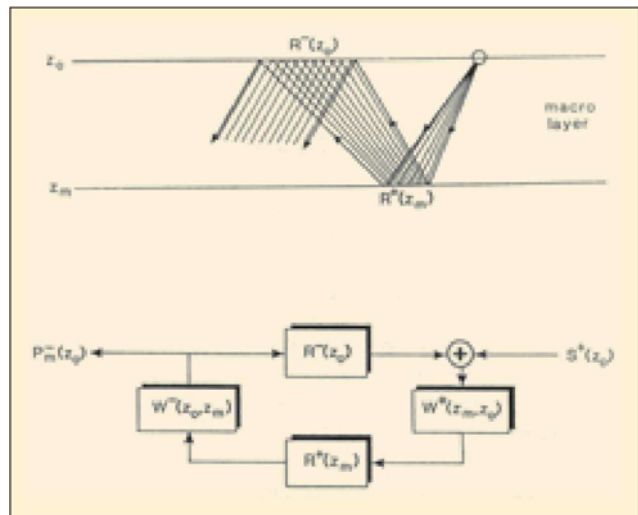
На практике, поверхность ($z = z_0$) – сильная отражающая граница и (1) должна быть изменена на

$$\mathbf{P}^+(z_m) = \mathbf{W}^+(z_m, z_0) \mathbf{P}^+(z_0)$$

и

(2a)

(2b)

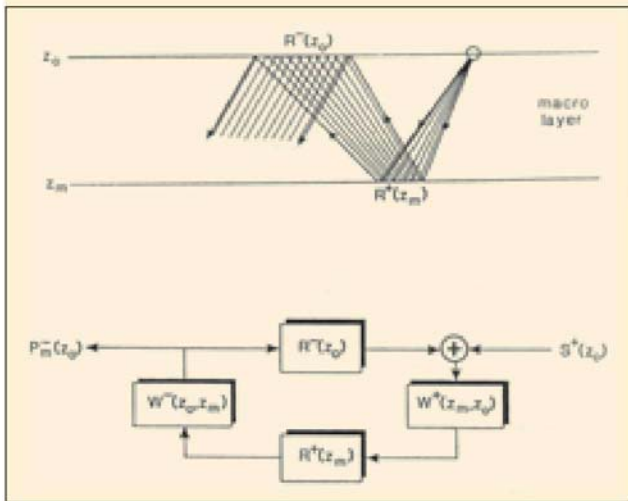


(2c)

Рисунок 5 Распространение и отражение для одного точечного источника и одной отражающей границы с учетом отражения на поверхности.

где $\mathbf{R}^-(z_0)$ представляет собой оператор отражения от поверхности для восходящих волн. На рисунке 5 приведена иллюстрация (2) для одного точечного источника и одной отражающей границы в разрезе. Отметим, что в (2) отклик $\mathbf{P}^-(z_0)$ содержит все кратные, образующиеся на поверхности. С помощью моделирования можно легко показать, что на практике проблема кратных в большей степени вызвана кратными от поверхности. Это иллюстрируется на Рис. 6.

Распространение, отражение и прием суммируются на Рис. 7. Оператор разложения $\mathbf{D}^+(z_0)$ преобразует функцию источника $\mathbf{S}(z_0)$ в поле нисходящих волн источника $\mathbf{S}^+(z_0)$; оператор разложения $\mathbf{D}^-(z_0)$ преобразует измерения $\mathbf{P}(z_0)$ в поле восходящих отражений $\mathbf{P}^-(z_0)$:



$$S^+(z_0) = D^+(z_0)S(z_0) \quad (3a)$$

$$P^-(z_0) = D^-(z_0)P(z_0) \quad (3b)$$

Если (2) формулируется в рекурсивном виде, то источник (и) и детекторы можно разместить на любом участке поверхности и внутренние кратные в операторах распространения $W^+(z_0, z_m)$ и $W^-(z_0, z_m)$ легко оцениваются.

Инверсия по этапам

На первый взгляд может показаться привлекательной обширная схема инверсии, в результате которой сейсмические наблюдения трансформируются в параметры пород и пор. Однако, кроме гигантского времени расчетов, которое будет затрачено, разработка одной огромной схемы инверсии может быть не лучшим способом это делать. На рисунке 8 показана схема пошаговой инверсии, реализованная путем использования трех слоев ПО:

1. Предварительная обработка, относящаяся к поверхности.
2. Построение изображений с помощью отражений.
3. Целевая пост обработка.

Сущность пошагового подхода состоит в том, что перед тем как оставить один слой ПО, должна производиться проверка соответствия результата. Это то, где *интерактивная часть* сейсмической обработки в высшей степени подходит. Обработка в слое 1 ПО основана на теории дискретных сигналов. На входе, как и на выходе, подаются временные разрезы. Не требуется никакой специфичной информации по строению разреза. Предварительная обработка, относящаяся к поверхности, должна начинаться с разложения данных измерений на восходящие и нисходящие волны согласно (3a) и (3b). Подавление поверхностных волн и кратных от поверхности также соответствуют слою 1 ПО.

Отметим, что традиционная обработка сейсмичи (деконволюция, суммирование по ОСТ, временная миграция) должны рассматриваться как методы, относящиеся к поверхности, и дающие предварительный просмотр поверхности.

Подавление кратных от поверхности показано непосредственно на рис. 9:

(4a) (4b)

Таким образом, все кратные от поверхности можно подавить, если известна отражающая способность поверхности (знания о разрезе не нужны). Отметим, что процесс подавления (4b) обязательно включает деконволюцию с использованием формы импульса

$$P^-(z_0) = T(z_0, z_0)P^+(z_0)$$

$$P^-(z_0) = T(z_0, z_0)[S^+(z_0) + R^-(z_0)P^-(z_0)]$$

$$T(z_0, z_0) = \frac{P^-(z_0)}{S^+(z_0) + R^-(z_0)P^-(z_0)}$$

источника и таким образом должна быть известна сигнатура источника.

В Дельфте мы применили процедуру подавления кратных от поверхности таким образом, что в процессе подавления одновременно была оценена сигнатура источника. Так информация, содержащаяся в кратных, используется для извлечения сигнатуры! На рисунке 10 показан процесс подавления кратных на данных из Рис. 6. Одновременно была оценена сигнатура источника. Хотя процедура применялась ко всем записям ОПВ (метод до суммирования), показаны только данных нулевых удалений.

Во многих ситуациях на практике внутрислойные кратные незначительны и, таким образом, оператор преобразования разреза $T(z_0, z_0)$ можно рассматривать как 'первичные' данные после деконволюции, которые были записаны на неотражающей однородной поверхности регистрации данных (см также (2)):

$$T(z_0, z_0) = \sum W^-(z_0, z_m)R^+(z_m)W^+(z_m, z_0) \quad (5)$$

В слое 2 ПО данные после предобработки прежде всего должны использоваться для оценки параметров макро модели разреза. В самой простой версии, параметры начальной макро модели адаптируются таким образом, чтобы финальная оценка полностью соответствовала парным значениям скорости суммирования и двойного времени пробега, измеренного по сейсмическим данным. В более продвинутой версии, не используется гиперболическое предположение, и моделированные сейсмограммы ОСТ коррелируются с реальными сейсмограммами ОСТ. Для случая акустики, информация по скоростям поперечных волн, c_s , не может быть получена из данных. Вместо этого используют эвристическое соотношение для каждого макро слоя, такое как 'линия глин':

$$\tilde{c}_p = c_0 + \alpha \tilde{c}_s \quad (6a)$$

Подобным образом, для получения макро плотности ρ , можно использовать 'соотношение Гарднера':

$$\log \tilde{\rho} = \log \rho_0 + \beta \log \tilde{c}_p \quad (6b)$$

Для каждого макро слоя.

Обработка в слое 2 ПО основывается на волновой теории. Используя (5) и макро модель производится преобразование первичных данных многих удалений $T(z_0, z_0)$ в отражающую способность как функцию углов $R^+(z_m)$ для каждой точки разреза на уровне глубины z_m и для каждого интересующего уровня глубин. Это выполняется в процедуре миграции до суммирования. Из (5) можно видеть, что

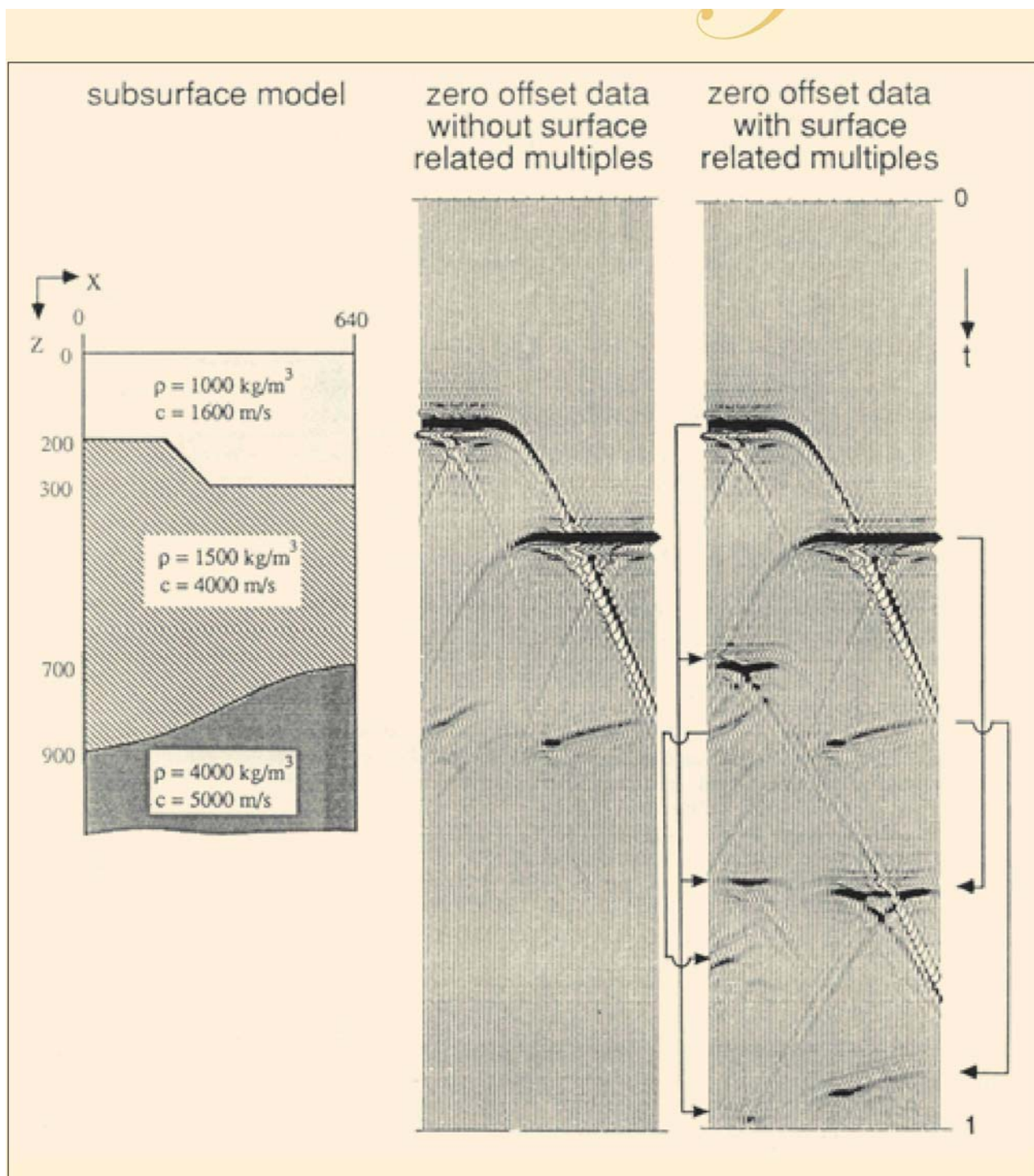


Рисунок 6 Влияние отражающей способности поверхности.

Преобразование из $T(z_0, z_0)$ в $R+(z_m)$ требует обращения в операторы распространения $W+(z_m, z_0)$ и $W-(z_0, z_m)$. Можно показать (Berkhout 1985), что оператор инверсии нисходящего распространения $W+(z_m, z_0)$ включает в себя процедуру пространственной деконволюции сейсмограмм ОПВ; оператор инверсии восходящего распространения $W-(z_0, z_m)$ включает в себя процедуру пространственной деконволюции сейсмограмм ОПВ. Однако, обе процедуры пространственной деконволюции можно объединить в одну схему обработки для каждой записи ОПВ!

Общеизвестно, что путем решения задачи является миграция до суммирования в области ОПВ. При выполнении миграции до суммирования общераспространенной практикой является сведение выходных мигрированных данных к одному суммарному коэффициенту отражения для каждой точки града разреза (глубинной точки), а суммирование выполняется по всем доступным углам падения в каждой глубинной точке (сейсмограмма ОГТ). Таким образом, при обработке ОСТ, суммирование по средней точке применяется сначала, вслед за этим обычно следует миграция нулевых удалений. При обработке ОГТ, сначала применяется миграция по многим

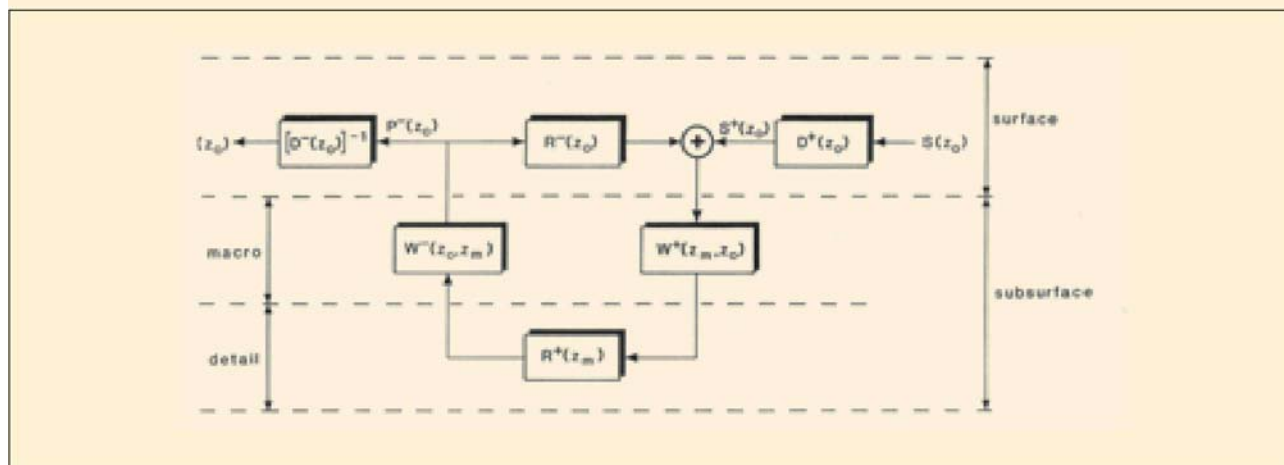


Рисунок 7 Обобщение испускания (на поверхности), распространения, отражения (одна отражающая граница) и приема (на поверхности).

удалениям, вслед за которой обычно следует суммирование по ОГТ. Более того, при обработке ОГТ анализ когерентности по сейсмограммам ОСТ (для определения скоростей суммирования) заменяется на анализ когерентности по сейсмограммам ОГТ (для проверки и обновления макро модели).

Отражающая способность разреза, зависящая от угла падения, определяет входные данные для третьего слоя ПО. Вначале (шаг 3а), выбирается информация об отражающей способности как функции угла в целевой зоне и инвертируется в информацию о скорости и плотности (c_p , c_s , ρ) для каждой точки разреза, используя выражение для коэффициента отражения как функции угла падения, информации о тренде (из макро модели) и, если имеется кросс плот между c_p , c_s и ρ в целевом интервале. Отметим, что кросс плотности могут играть очень важную роль в стабилизации инверсии на основе данных. Отметим также, что для коэффициента отражения продольных волн, зависящего от угла падения, можно записать (Berkhout 1987, глава VII): (7a)

$$R_{pp}^+ = \frac{[A_{11} \rho_2 c_{p2} \cos \alpha_p + A_{12} \cos \alpha_p \cos \beta_p] - [A_{22} \rho_1 c_{p1} \cos \beta_p + A_{21} \sin \alpha_p \sin \beta_p]}{[A_{11} \rho_2 c_{p2} \cos \alpha_p + A_{12} \cos \alpha_p \cos \beta_p] + [A_{22} \rho_1 c_{p1} \cos \beta_p + A_{21} \sin \alpha_p \sin \beta_p]}$$

где

$$\begin{aligned} A_{11} &= [1 - Q/\rho_2]^2 \rho_2 c_{s2} \cos \alpha_s + \rho_1 c_{s1} \cos \beta_s \\ A_{22} &= [1 + Q/\rho_1]^2 \rho_1 c_{s1} \cos \beta_s + \rho_2 c_{s2} \cos \alpha_s \\ A_{12} &= [Q^2/\rho^2] \cos \alpha_s \cos \beta_s \\ A_{21} &= c_{s1} c_{s2} [\rho_1 - \rho_2 + Q]^2 \end{aligned}$$

и

$$Q = 2\rho^2 [\rho_2 c_{s2}^2 - \rho_1 c_{s1}^2]$$

$$p = \sin \alpha_p / c_{p1} = \sin \alpha_s / c_{s1} = \sin \beta_p / c_{p2} = \sin \beta_s / c_{s2}.$$

$$R_{pp}^+ = a_1 \frac{\Delta Z_p}{Z_p} + a_2 \frac{\Delta c_s}{c_s}$$

(7b)

где

$$Z_p = \rho c_p$$

и

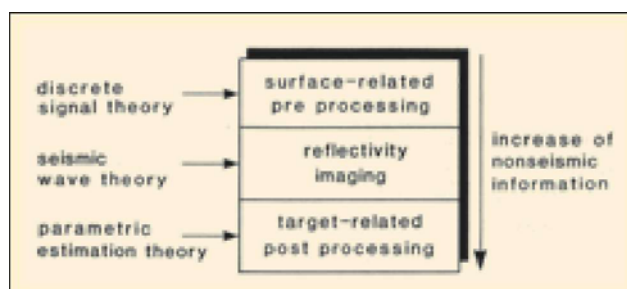
$$\begin{aligned} a_1 &= 1 - \frac{4}{3} b^2 \sin^2 \alpha_p + \frac{4}{3} \tan^2 \alpha_p \\ a_2 &= -4b^2 \sin^2 \alpha_p \quad \text{with } b^2 = c_s^2/c_p^2. \end{aligned}$$

Линеаризованная инверсия, с использованием (7b), в результате дает взвешенное суммирование сейсмограмм ОГТ. Отметим, что в линеаризованной инверсии можно получить отдельные оценки ρ и c , только в случае доступности дополнительной информации, например 'Соотношения Гарднера':

$$\frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}} = 0.25 \frac{\Delta c_p}{c_p}$$

(7c)

Кроссплот между ρ и c имеет важное преимущество, он задает соотношение типа соотношения Гарднера, которое включает информацию о ковариации (стохастическую формулировку), что позволяет находить решение, лежащее вне главной кривой.



Линеаризованная версия (7a) задается (Smith and Gidlow 1987):

Рисунок 8 Пошаговая сейсмическая инверсия, реализованная тремя отдельными слоями ПО.

В конечном итоге, на последнем этапе инверсии (шаг 3b) информация по скорости и плотности в целевой зоне используется для оценки

■ параметров породы:

Плотности материала зерен (твердый),
сжимаемости материала зерен (твердый),
сжимаемости пустой пористой породы (объемная),
и коэффициента Пуассона пустой пористой
породы (объемный).

■ параметров объема пор:

пористости, и
водонасыщения.

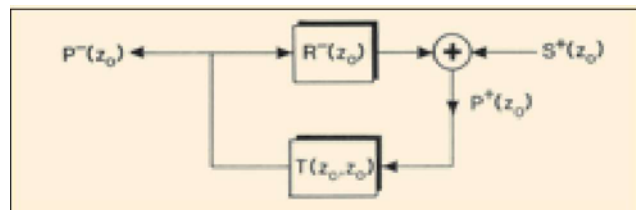


Рисунок 9 Модель, которая может быть использована для подавления наиболее важной категории кратных отражений, кратных от поверхности

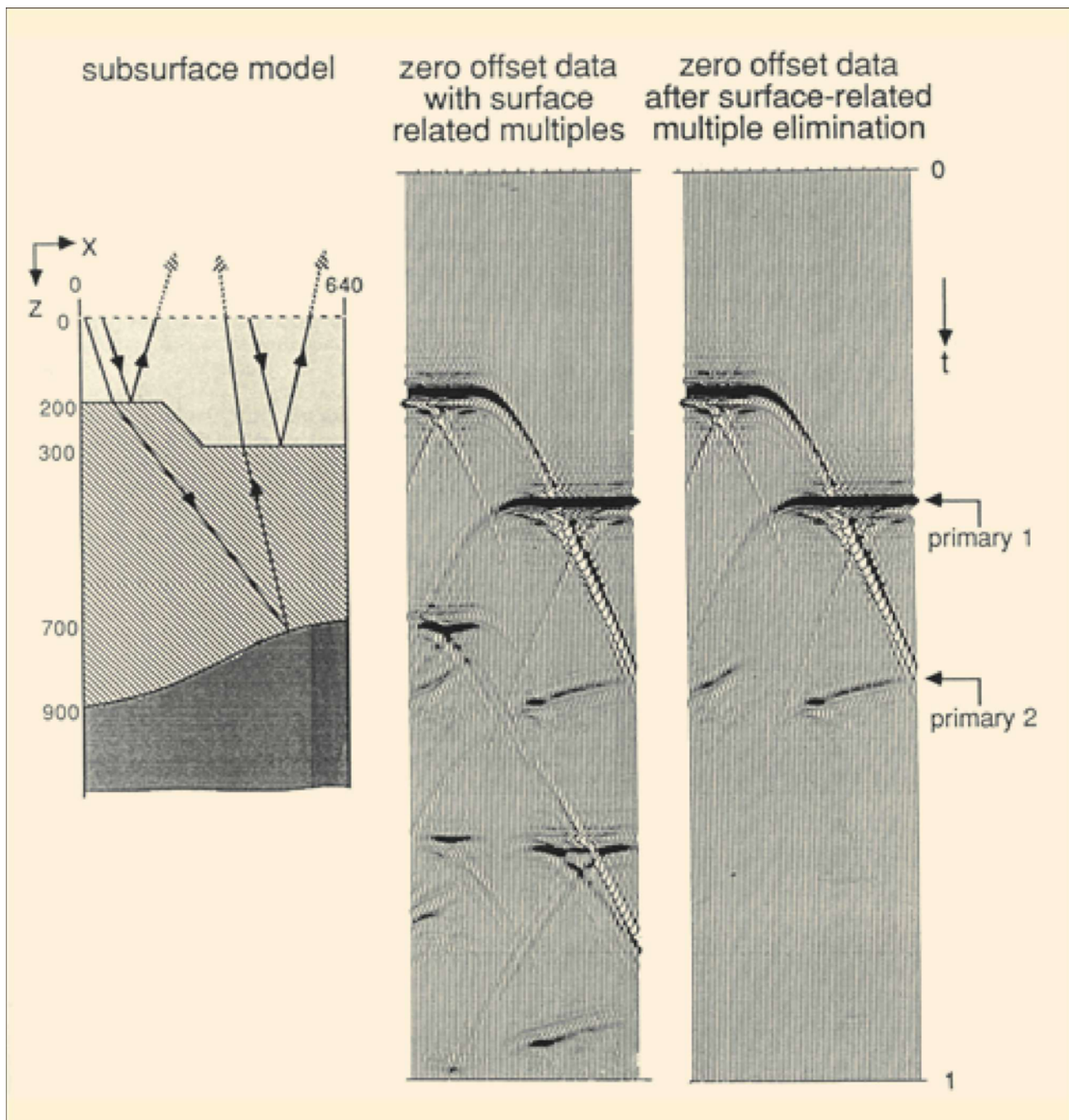


Рисунок 10 Эффект устранения влияния отражающей способности поверхности путем предварительной обработки (показаны только данные нулевых удалений). Отметим, что даже в этом примере с большой отражательной способностью разреза можно пренебречь внутрислойными кратными.

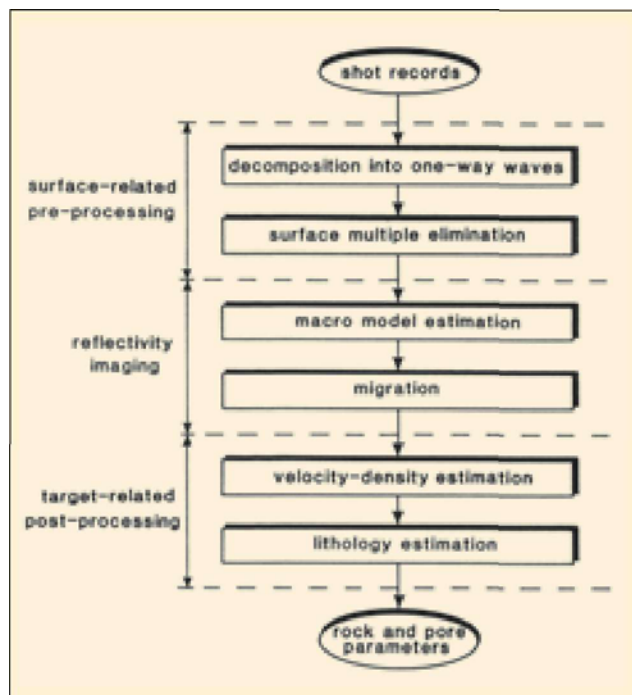


Рисунок 11 Акустическая версия схемы пошаговой сейсмической инверсии.

- параметров порового флюида: плотности воды, сжимаемости воды, плотности газа и/или нефти, и сжимаемости газа и/или нефти.

В алгоритме инверсии используются уравнения типа Гассмана для продольных и поперечных волн, уравнения объемного среднего для объемной плотности и сжимаемости флюида, линейное изменение по глубине коэффициента Пуассона, полуэмпирическая функция глубины для коэффициента прочности каркаса (Geertsma 1961) и любые другие имеющиеся эмпирические соотношения. Первые результаты показывают, что литологическая инверсия выполнима, только если используется существенное количество дополнительное (несейсмическое) информации!

На рисунке 11 суммируется пошаговый подход сейсмической обработки (акустическая версия). Он может рассматриваться как функциональная схема нового поколения сейсмического ПО. На центральном, втором этапе, эффекты распространения и информация об отражении разделяют (путем миграции). Достоверность этого важного и наиболее длительного этапа сейсмической обработки может быть проверена путем оценки сейсмограмм ОГТ. Если, для глубинной точки в целевом диапазоне, информация об отражательной способности по другим записям ОПВ не выстраивается, то этап 3 инверсии нельзя начинать, тогда как этап 2 должен быть повторен с изменением макро модели (взаимодействие пользователя).

Интеграция

Сегодня, нефтяная индустрия признает, что будущим требованиям можно удовлетворить только при использовании междисциплинарного подхода

в разведке и добыче (Рис. 12). Индустрия осознает, что такой подход требует нового взгляда на управление информацией и приложениями в пределах нефтяных компаний. До настоящего времени большая часть систем управления информацией были установлены для групп пользователей и/или для специальных приложений. По этой причине обмен информацией между различными дисциплинами на уровне базы данных часто очень труден или невозможен. Обмен информацией все еще имеет место преимущественно в бумажном виде (карты, отчеты, и т.д.) или в виде лент (например, сейсмические данные). Информация часто является неполной (например, стандарт SEG-Y) и т.к. обычно представляются только результаты, история информации (т.е. все манипуляции с данными между исходными измерениями и финальной картой или профилем) с легкостью теряются. Однако, история, или граф обработки, может быть исключительно важно для проверки достоверности финальных результатов.

Много-дисциплинарный подход требует возможности совместного использования информации и приложений между специалистами в различных дисциплинах.

Совместное использование данных

- Географическая информация, необходимая для планирования сейсмических съемок также представляет собой огромную значимость для интерпретации сейсмических данных, для управления скважиной и добычей.
- Выше обсуждалось, что особенно в третьем слое ПО для сейсмической обработки/инверсии, должно задаваться большое число несейсмической информации. Должны использоваться интерпретированные данные каротажа по отдельным скважинам, стратиграфические модели по нескольким скважинам, статистическая информация (кросс-плоты) по скоростям и плотностям для каждого литологического класса в районе, и т.д.
- Комбинация интегрированных геологических/сейсмических/каротажных результатов инверсии с информацией о добыче.

Совместное использование приложений

Интерфейс пользователя должен быть подходящим для всех пакетов программ пользователя. Таким образом общая функциональность будет представлена однородно для разнообразных типов пользователей.

Системы информации E&P должны позволять управлять всеми данными разведки и добычи (т.е. полное

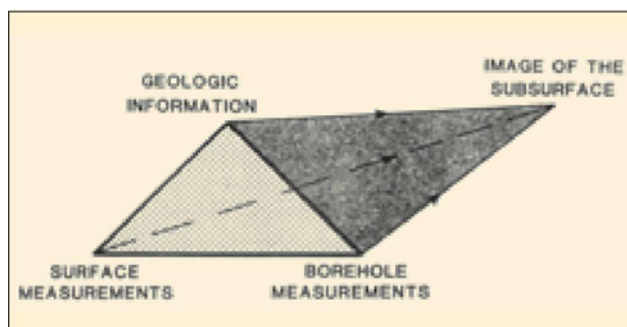


Рисунок 12 В интегрированном подходе вся доступная информация используется для построения изображения разреза.

разделение) и допускать полную интеграцию приложений. Как проиллюстрировано на Рис. 13, системы управления информацией совместно перекрывают полный цикл жизни (от разведки до добычи) коллектора. Наземные системы управления управляют географической информацией (т.е. данными, относящимися к поверхности) всеми сейсмическими, каротажными данными и данными инженерного управления коллектором (т.е. данными, относящимися к разрезу).

Ядра информационных систем E&P должны состоять из трех подсистем:

■ **Подсистема ввода/вывода данных**

Эта подсистема выполняет ввод и вывод данных с помощью клавиатуры, сетей экранов или диска, используя методики, основанные на формах или панелях. Эти формы и панели используются для просмотра, введения или изменения идентификатора описания всех типов данных. Информация в этих формах и панелях может быть напечатана в виде отчетов. Для больших объемов данных (например сейсмотрассы, каротажные диаграммы, данные навигации, скорости и горизонты), загрузка или выгрузка баз данных также может осуществляться с помощью ленты с использованием стандартных форматов ленты (SEG-Y, UKOOA, Schlumberger LIS, и т.д.).

■ **Подсистема Схемы профилей**

С помощью этой подсистемы пользователь может отобразить на карте местоположение хранящихся данных и их отношение к проекту (смотрите также ниже). На каждый пункт данных подсистема схем профилей поддерживает создание отчетов, основанных на идентификации описательных данных. Инструмент схем профилей имеет возможность управления проектами, которые руководят только частью информации, которая хранится в базе данных. Данные могут быть загружены в базу данных или выгружены из нее на основе проекта.

■ **Подсистема управления базой данных**

Система управления базой данных отвечает за хранение данных, извлечение данных и контроль целостности данных. Система управления базой данных может управлять несколькими независимыми базами данных с одной и той же моделью данных. В каждой базе данных должна быть возможность хранить данные всех типов. В настоящее время, каждая база данных обычно хранится на одной платформе оборудования. Однако, в ближайшем будущем станет возможным распределять разные базы данных по различным компьютерным системам. Затем ко всем базам данных может осуществляться доступ по локальным вычислительным сетям. Для каждой базы данных можно задавать проекты, один проект может быть представительным подбором информации (база данных проектов). Для всех данных с разрешением на чтение, в среду проекта должны копироваться только ссылка на данные, но для всех данных с разрешением на чтение и запись, в базу данных проекта должны также копироваться данные. Помимо проектов, также должно быть возможным организовать данные в разряды концессий, месторождений (нефти и газа) и бассейнов.

К ядру системы необходимо добавлять большое число программных приложений E&P. Функциональность этих программ будет покрывать:

- Сейсмическое моделирование, сейсмическая обработка и интерпретация;
- Обработка и интерпретация данных каротажа;

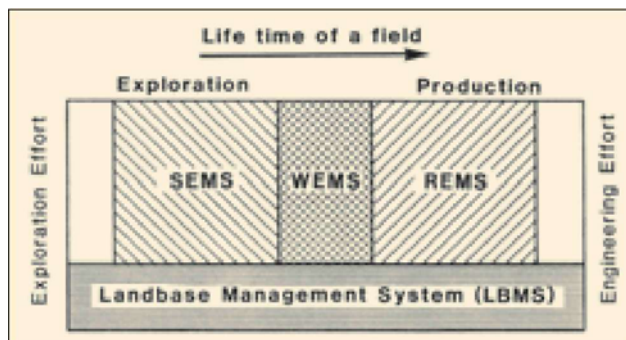


Рисунок 13 Система управления информацией должна перекрывать полный цикл жизни коллектора. SEMS = система управления сейсмическими данными; WEMS = система управления данными каротажа; REMS = система управления инженерными данными по коллектору.

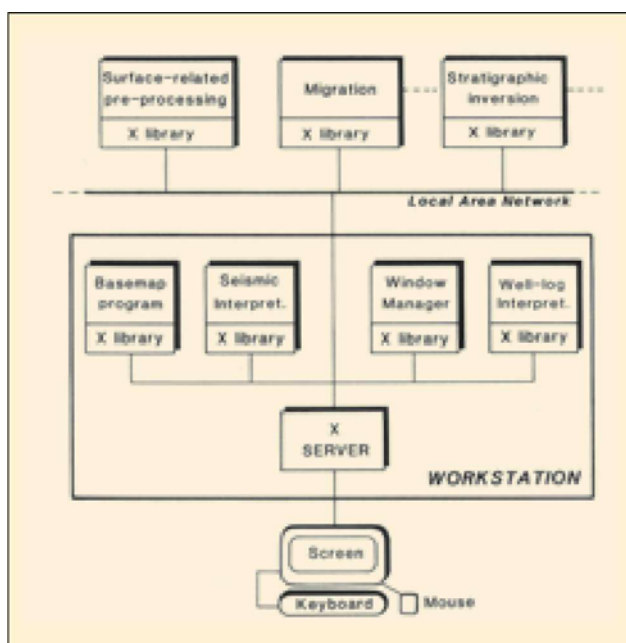


Рисунок 14 Сетевое использование системы управления информацией E&P.

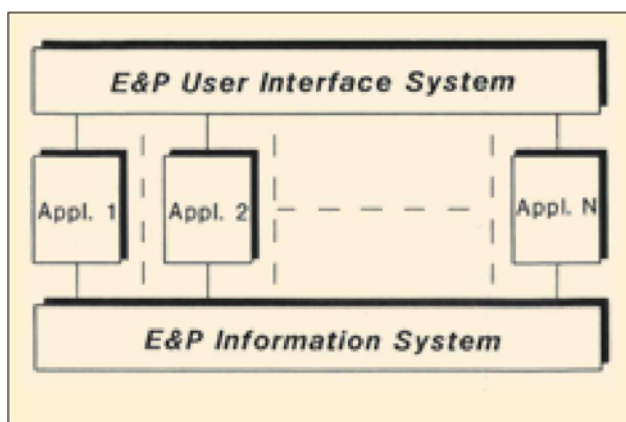


Рисунок 15 Полное решение E&P состоит из обособленных модулей приложения между системой интерфейса пользователя E&P и информационной системой E&P.

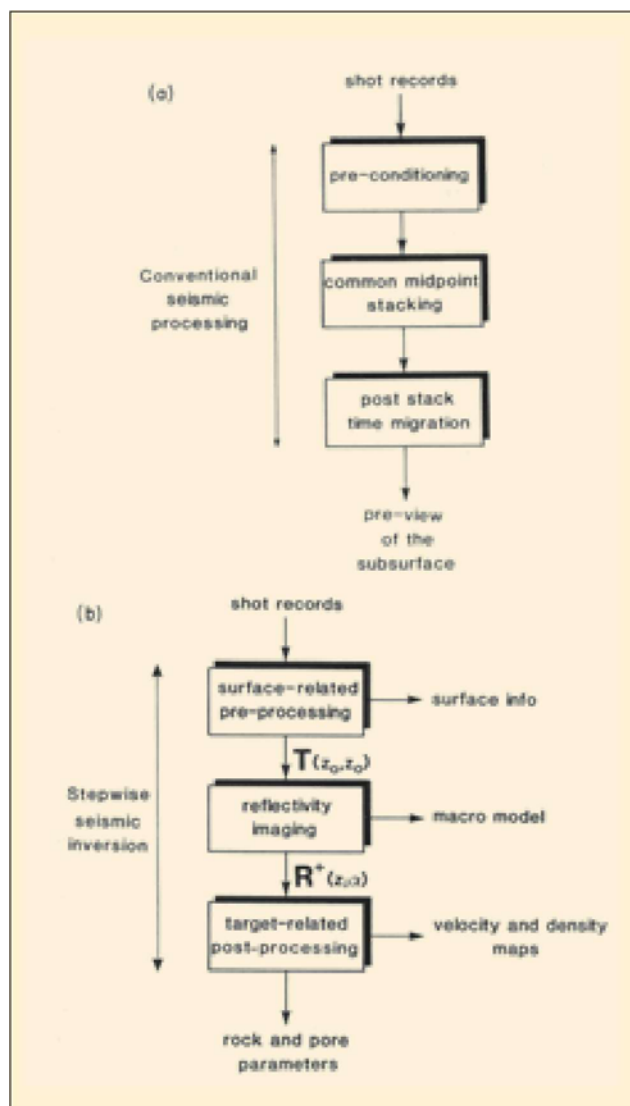


Рисунок 16 (а) Обработка сейсмики в 1970х в терминах предварительной подготовки, суммирования и временной миграции. (б) Обработка сейсмики в 1990х в терминах предварительной обработки, отнесенной к поверхности, построения изображения отражательной способности и пост обработки, относящейся к целевому объекту.

- Гриддинг и оконтуривание параметров горизонта и параметров слоя (картирование); и
- Моделирование коллектора, оценка объемов и оценка запасов.

Для внедрения базы данных необходимо сделать выбор между коммерчески доступными базами данных (например, Oracle и Ingress) и системами баз данных изготовленных по заказу Е&Р. Результаты производственных тестов указывают на то, что коммерчески доступные системы баз данных слишком медленные для поддержки интерактивных приложений.

Интерфейс пользователя всех программных приложений Е&Р (включая подсистемы ввода/вывода и подсистемы схемы профилей) должны поддерживать, по крайней мере:

- Многооконный режим,
- Методики интерфейса пользователя, такие как всплывающие меню и панели,

- Независимость устройств, и
- Прозрачность сетей.

Учитывая все требования, интересно упомянуть, что пользовательский интерфейс может полностью основываться на доступном в настоящем, стандартном центральном ПО и ПО для коммуникаций, X-windows версии 11. Все программные приложения затем можно использовать как обособленные модули, в которых используются окна для каждого изображения в сети независимо от устройства и с прозрачной сетью. Общее управление и коммуникация между приложениями реализуется через менеджер окон осуществляющий общий контроль настольного ПК (т.е. экрана) и входных устройств.

В конце концов, на рис. 14 показан пример сетевого использования информационных систем Е&Р. Поскольку система поддерживает распределение данных по сети, всеми данными управляет одна система управления информацией. Сетевая прозрачность X-windows гарантирует, что например, пред-обработка, относящаяся к поверхности и стратиграфическая инверсия, могут использовать в точности те же функции, как графика и пользовательский интерфейс (например, всплывающие меню и панели) как приложения, запускаемые на рабочей станции. Все приложения находятся под контролем менеджера окон рабочей станции. Отметим, что приложения, такие как стратиграфическая инверсия могут успешно запускаться в интегральной среде.

Заключительные замечания

Будущие разработки в Е&Р будут характеризоваться дальнейшим прогрессом в отдельных приложениях, для одной дисциплины и интеграцией всех приложений Е&Р и всей информации Е&Р. Программные приложения Е&Р должны быть расположены, как модули обособленных параллельных модулей, между пользовательским интерфейсом Е&Р и информационной системой Е&Р (Рис. 15).

Интерфейс пользователя должен быть согласованным для всех пакетов приложений Е&Р; системы информации должны гарантировать полную доступность всей информации Е&Р, которая требуется много-дисциплинарными приложениями (одна модель данных Е&Р). Отметим, что обмен входными и выходными данными между пакетами приложений будет осуществляться только в структурированном виде через базу данных информационной системы Е&Р.

Традиционная обработка сейсмических данных может рассматриваться как метод, относящийся к поверхности. Ввод и вывод состоит из временных трасс. Обработка в большей степени основана на методиках временных рядов. Таким образом, традиционная обработка дает экономичный обзор разреза (Рис. 16а). Если в некоторых областях требуется точное изображение, должен быть использован более строгий подход.

Ожидается, что новое поколение сейсмического программного обеспечения будет состоять из трех различных слоев. Первый слой программы генерирует однородную неотражающую поверхность земли. Во втором слое ПО в разрез проникают путем нисходящей экстраполяции (подавление эффектов распространения). Результатом чего является глубинное изображение разреза в терминах отражающей способности.

В конце концов, в третьем слое ПО, зависящее от угла отражательная способность для областей разреза, представляющих особый интерес, будет использоваться далее в расчете кривых скоростей и плотностей и/или карт, которые снова могут использоваться для оценки параметров породы и пор (рис. 16b).

Для многокомпонентных данных, предварительная обработка должна начинаться с разложения на Р- и S-волны, идущие в одну сторону. Далеко идущим следствием этого подхода будет то, что после разложения, обработку данных упругих волн можно выполнять путем повторного применения ПО для скалярной обработки (Berkhout and Wapenaar 1988).

Литература

- Berkhout, A.J. 1985. Seismic Migration - Imaging of Acoustic Energy by Wave Field Extrapolation- Theoretical Aspects, third edition. Elsevier, Amsterdam and New York.
- Berkhout, A.J. 1987. Applied Seismic Wave Theory. Elsevier, Amsterdam and New York.
- Berkhout, A.J. and Wapenaar, C.P.A. 1988. Delft philosophy on inversion of elastic data. 58th SEG meeting, Anaheim, USA, Expanded Abstracts, 831-833.
- Geertsma, J. 1961. Velocity-log interpretation: the effect of rock bulk compressibility. *Journal of the Society of Petroleum Engineers*, 1, 235-248.
- Smith, G.C. and Gidlow, P.M. 1987. Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas. *Geophysical Prospecting* 35, 993-1014.