



Динамическая Декомпозиция волновых полей и Реконструкция модели среды при обработке данных ВСП.

- **А.В. Решетников (СПбГУ), А.А. Табаков,**
- **В.В. Решетников (СПбГУ), И.Е. Солтан**

Москва , Гальперинские чтения - 2002

Содержание

- 1. Введение**
- 2. Формулировка задач**
- 3. Описание модели среды**
- 4. Расчет лучей в двумерных градиентных средах с криволинейными границами раздела**
- 5. Сопоставление параметров волн, рассчитанных лучевым и конечно-разностным методами**
- 6. Технология ДДР**
- 7. Выводы**

1. Введение

Как правило процессы обработки и интерпретации данных сейсморазведки эти процессы разделены во времени и выполняются различными пакетами программ. При этом доступная информация используется далеко не в полном объеме, что связано, главным образом, с использованием упрощенных подходов при обработке сейсмических полей.

В настоящее время наибольшее распространение при решении задач построения изображений геологического разреза получили методы, основанные на лучевых и различных миграционных преобразованиях, но каждый из таких методов в отдельности обладает рядом серьезных недостатков. При этом для построения изображений используется, как правило, не волновое поле в целом, а выделенная из всего поля информация определенного рода, например поля продольных отраженных волн.

Кроме того во многих случаях используются сильно упрощенные модели среды (такие как плоские границы разделов, отсутствие градиентов скоростей и т.д.), что приводит к большим погрешностям при интерпретации.

В предлагаемом докладе представляется новая методика обработки и интерпретации данных сейсморазведки ВСП, основанная на базе двумерной градиентной модели среды, заключающаяся в том, что регулярные волны вычитаются из сейсмограммы по годографам и с амплитудами, рассчитанными по начальной модели среды, и проектируются на изображение с использованием этой модели.

Полученное изображение можно использовать для уточнения начальной модели, что может служить основой для следующей итерации на пути подбора модели адекватной волновому полю.

2. Формулировка задач

Для применения лучевого метода, являющегося высокочастотным приближением, модель должна удовлетворять ограничениям на максимальную кривизну границ. Для описания произвольных сред, например соляных куполов, необходимо параметрическое задание границ.

Траектории лучей в средах с постоянным градиентом представляют собой дуги окружностей. Расчет таких траекторий в средах с меняющимися в пространстве градиентами должен выполняться по быстрым устойчивым алгоритмам.

Поскольку реальные среды обладают тонкой слоистостью, форма рассеянных волн всегда не совпадает с формой импульса возбуждения. Поэтому форма волны, отраженной от соответствующей границы опорной модели, должна определяться из реальных записей.

Для последующего уточнения модели, форма волны должна быть изображена в глубинном масштабе в точке рассеяния. Уточнение модели может быть выполнено путем смещения границ в положение, соответствующее осям синфазности на изображении.

Таким образом для реализации метода ДДР необходимо решить следующие задачи:

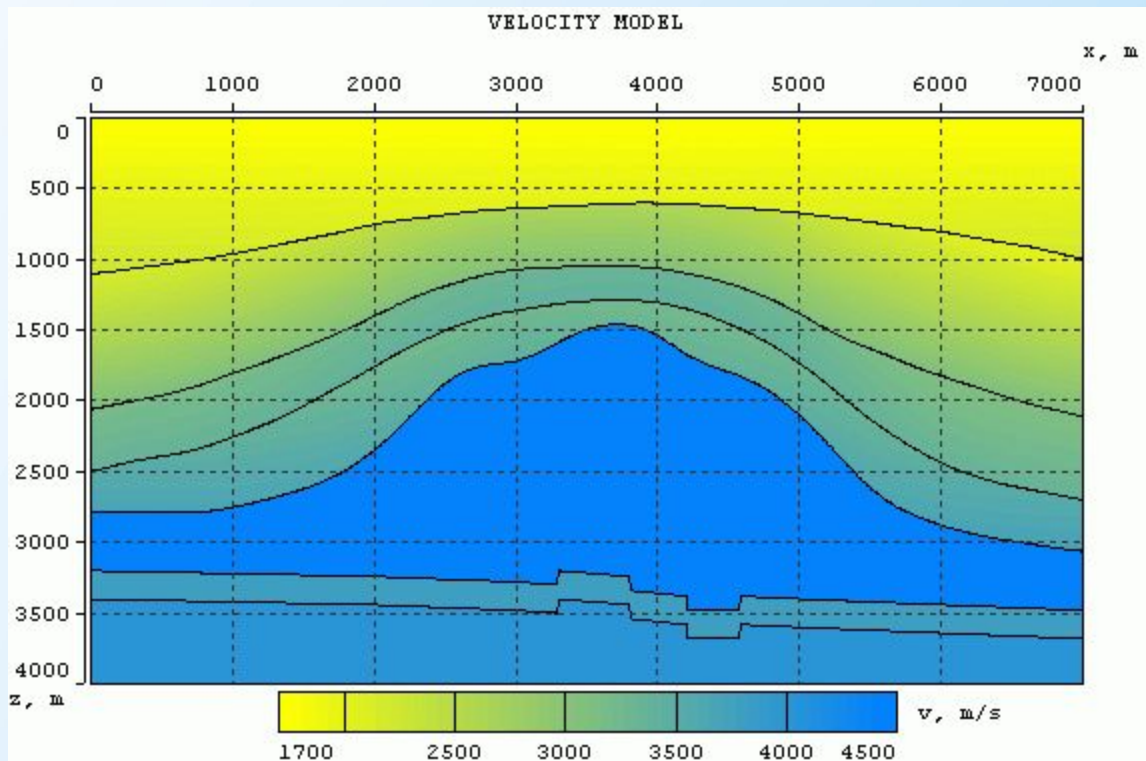
- 1. Построение модели среды удовлетворяющей условиям лучевого метода.**
- 2. Расчет кинематических и динамических характеристик волн в средах с изменяющимися градиентами скоростей.**
- 3. Оценка формы волны.**
- 4. Проектирование волны на разрез.**
- 5. Уточнение модели среды.**

3. Описание модели среды

Исходная модель, заданная наборами точек на границах аппроксимируется кубическими сплайнами с регуляризацией в виде соотношения смещения границы к величине скачка третьей производной.

Для каждой границы подбирается сглаживание, обеспечивающее максимальную кривизну, соответствующую ограничениям лучевого метода.

Применение параметрических сплайнов дает возможность описывать произвольные, в том числе многозначные границы.



4. Расчет лучей в градиентных средах с криволинейными границами раздела

Для расчета в рамках лучевого метода кинематических и динамических характеристик волн разработаны численные методы, использующие локально-точные решения, что позволило получить простые устойчивые вычислительные процедуры. Основными из них являются программы слежения луча с учетом преломления-отражения в точке пересечения луча с границей и расчета динамических характеристик волн.

Слежение лучей.

Для слежения лучей модель была разбита на квадратную сетку с шагом, ΔS внутри элементов которой градиент скоростей считался неизменным. В каждом квадрате сетки заданы модуль вектора градиента скоростей и его направление. В случае линейной зависимости скоростей упругих волн от координат (градиент скоростей постоянен):

$$v(x, z) = a_0 + a_1 x + a_2 z.$$

Введем локальную систему координат (x', z') в которой скорость оказывается функцией только z' .

$$v(x, z) = v(z') = b_0 + b_1 z'$$

В новой системе координат траектория луча представляет собой окружность: $x' = \gamma_1 - \frac{\beta}{\alpha^2} \sqrt{1 - \alpha^2 v^2(z')}$

где α, β, γ_1 некоторые константы. Это уравнение окружности с координатами центра $\gamma_1, \frac{b_0}{b_1}$

ее радиус R имеет вид:

$$R = \frac{1}{\alpha |b_1|} = \frac{v(z'_H)}{b_1 \sin \theta_H(z'_H)}$$

Здесь

$$\alpha = \frac{\sin \theta_H}{v(z'_H)} = \frac{\sin \theta(z')}{v(z')} \quad \gamma_1 = \frac{v(z'_H)}{b_1} \operatorname{ctg} \theta_H \quad \beta = \frac{\sin \theta_H}{v(z'_H)}$$

α - параметр луча

θ_H - угол выхода луча из начальной точки (x'_H, z'_H)

Так как скорости меняются нелинейно, то слежение луча проводится пошагово. Направление и величина шага выбираются исходя из учета параметров среды в начальной точке (величина и направление градиента берутся из элемента сетки, в котором находится начальная точка). Шаг определяет хорду H_i окружности, являющейся истинной траекторией. Первый шаг делается по хорде H_0 , составляющей угол Φ с направлением луча (Φ является параметром задачи и определяет точность ее решения.). Величины хорд рассчитываются по формуле:

$$H_i = 2R_i \operatorname{tg}\Phi$$

где $R_i = \left| \frac{V(x_i, z_i)}{k(x_i, z_i) \sin(\theta_i - \alpha_i)} \right|$ ($i=0, 1, \dots, N$),

(x_i, z_i) начальная точка i -ой хорды

$V(x_i, z_i)$ скорость продольной волны

$k(x_i, z_i)$ модуль градиента скоростей

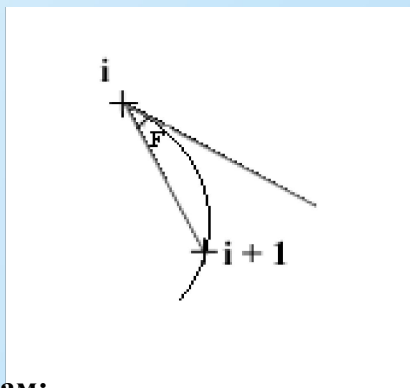
$\theta(x_i, z_i) = \theta_i$ направление касательной к траектории луча

$\alpha(x_i, z_i) = \alpha_i$ направление градиента скоростей

Направляющий угол первой хорды равен $\theta_0 + \Phi$, где θ_0 - начальный угол, под которым был запущен луч.

Каждая из последующих хорд поворачивается на угол 2Φ относительно предыдущей против часовой стрелки, если проекция вектора градиента на ось Z больше нуля и в противоположном направлении в противном случае.

Касательная к лучу поворачивается от точки к точке в том же направлении и на тот же угол, как и хорда.



Координаты концов хорд вычисляются по следующим формулам:

$$x_1 = x_0 + H_0 \sin\Psi_0$$

$$x_2 = x_1 + H_1 \sin\Psi_1$$

$$x_{i+1} = x_i + H_i \sin\Psi_i$$

$$z_1 = z_0 + H_0 \cos\Psi_0$$

$$z_2 = z_1 + H_1 \cos\Psi_1$$

$$z_{i+1} = z_i + H_i \cos\Psi_i$$

$$\Psi_0 = \theta_0 \pm \Phi_0$$

$$\Psi_1 = \theta_1 \pm \Phi_1$$

$$\Psi_{i+1} = \theta_i \pm \Phi_i$$

В том случае, когда величина H_i превышает $\Delta S/2$ выполняется пересчет Φ по формуле $\Phi = \arcsin(\Delta S/2)$. Т.е. при любых параметрах среды шаг по лучу не может быть больше чем половина длины элемента сетки.

Учет преломления-отражения в точке пересечения хорды луча с границей производится следующим образом:

В точке пересечения проводится касательная к границе, вычисляется касательная к границе компонента вектора рефракции падающего луча заданного типа и по этой, сохраняющейся при отражении-преломлении компоненте, рассчитывается нормальная к границе компонента вектора рефракции преломленного или отраженного (монотипного или обменного) луча . Заданы вектор

$$\vec{p}_v^{(in)} = \frac{\vec{n}}{v_v}$$

рефракции падающей волны v -ого типа $\vec{p}_v^{(in)} = p_{v\parallel}^{(in)} \vec{m} + p_{v\text{ort}}^{(in)} \vec{N}$, и в точке встречи - вектор касательной к границе \vec{m} и вектор нормали к границе блока \vec{N} (внешняя нормаль).

Вектор рефракции преломленной или отраженной волны $\vec{p}_\mu^{(out)} = p_{\mu\parallel}^{(out)} \vec{m} + p_{\mu\text{ort}}^{(out)} \vec{N}$, где

$$p_{v\parallel}^{(in)} = p_{\mu\parallel}^{(out)} \quad p_{\mu\text{ort}}^{(out)} = \pm \frac{\sqrt{1 - (p_{\mu\parallel}^{(out)} v_\mu)^2}}{v_\mu}$$

Расчет динамических характеристик волн.

Для расчета амплитуд в каждом приемнике по известной траектории соответствующего луча использовалась формула :

$$A = \frac{1}{\sqrt{L(M)}} \prod_{i=1}^n \chi_i \prod_{k=0}^{n+1} \sqrt{\frac{\rho_k v_{k+1} \cos \theta_{k+1}^N}{\rho_{k+1} v_k \cos \theta_k^N}}$$

Где :

χ_i коэффициент преломления отражения луча на i -той границе

n – число границ, пересекаемых волной

θ_i углы падения и отражения (преломления) на границе

v_i скорости на луче до и после пересечения i -той границы

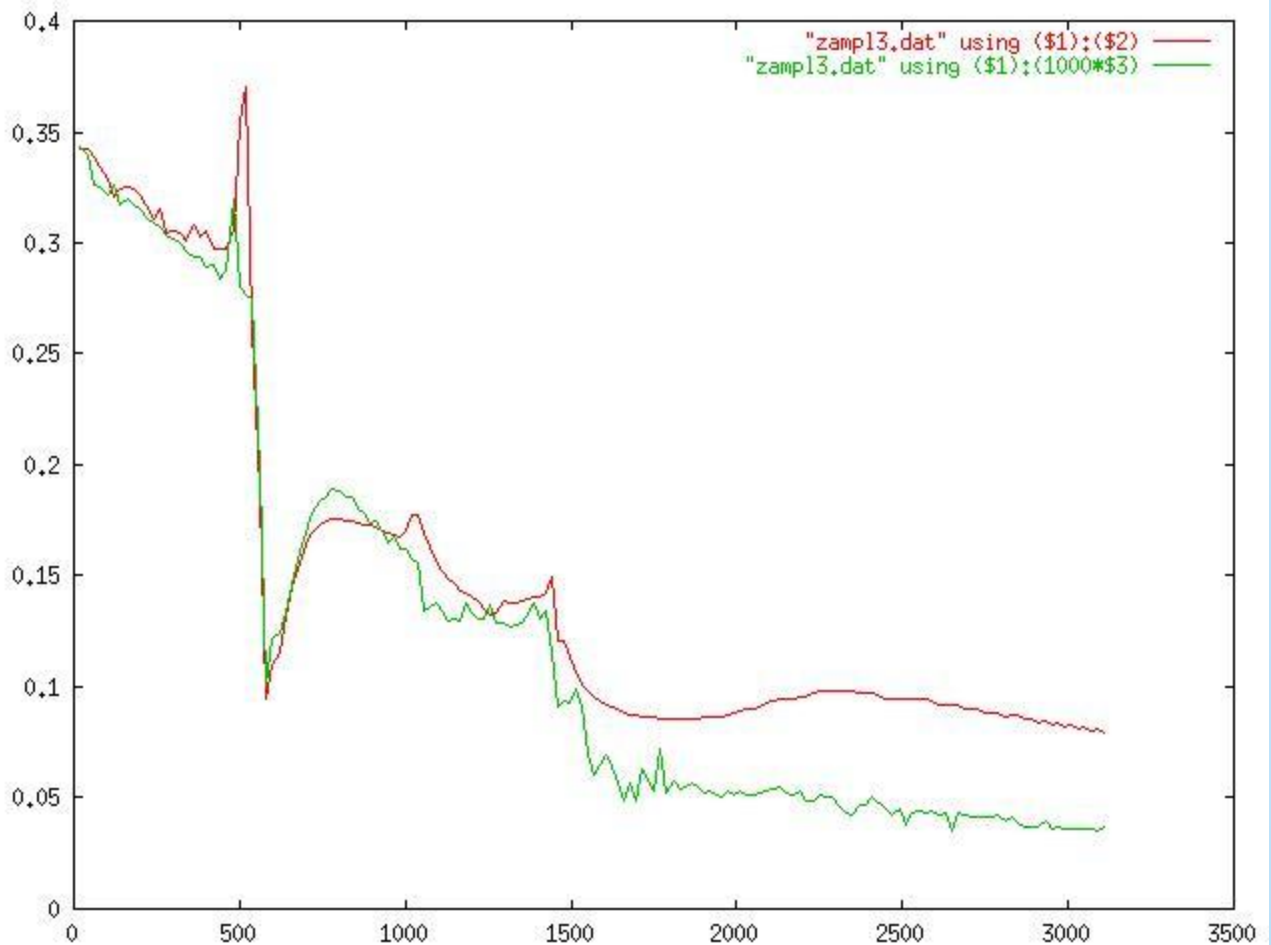
ρ_i соответствующие плотности.

$L(M)$ – геометрическое расхождение лучевой трубки

Для расчета геометрического расхождения пускались дополнительные лучи с начальными углами $a+da$ и $a-da$, где a – начальный угол луча, а da – небольшое приращение. Геометрическое расхождение определялось как отношение диаметров лучевой трубки (расстояния между боковыми лучами) вблизи источника и на скважине .

5. Сопоставление параметров волн, рассчитанных лучевым и конечно-разностным методами.

Кинематические параметры волн рассчитанные лучевым методом и выделенные из поля, рассчитанного конечно-разностным методом, хорошо согласуются друг с другом. В то время как динамические характеристики хорошо совпадают только в отдельных интервалах глубин. Расхождение амплитуд будет являться предметом дальнейших исследований.



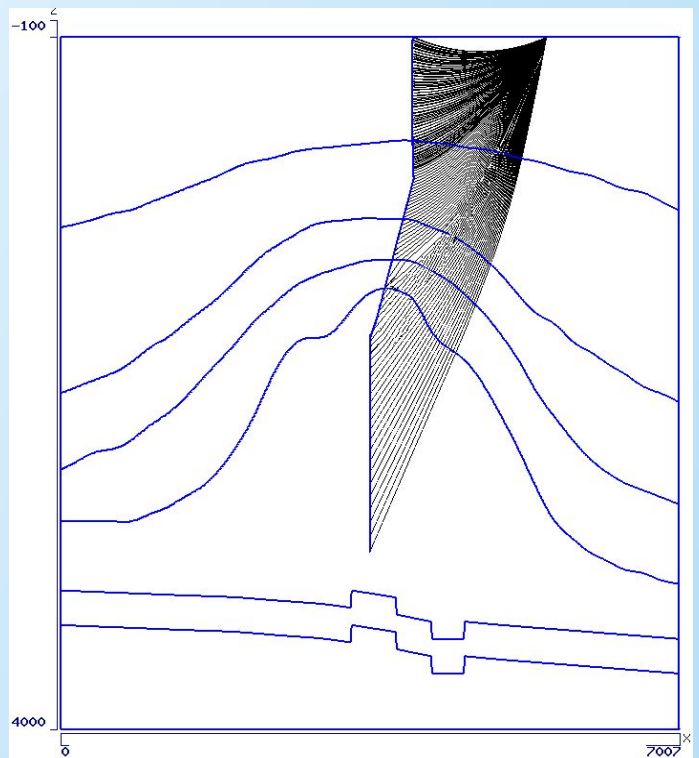
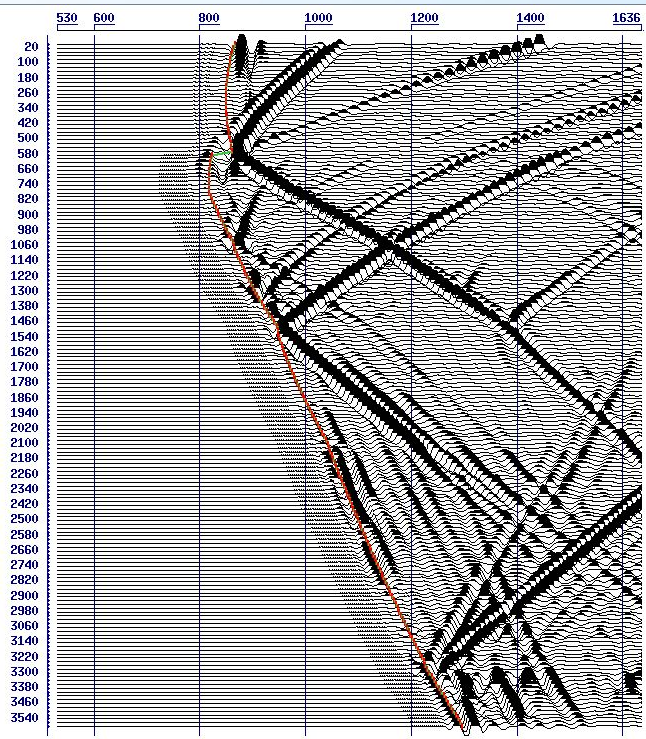
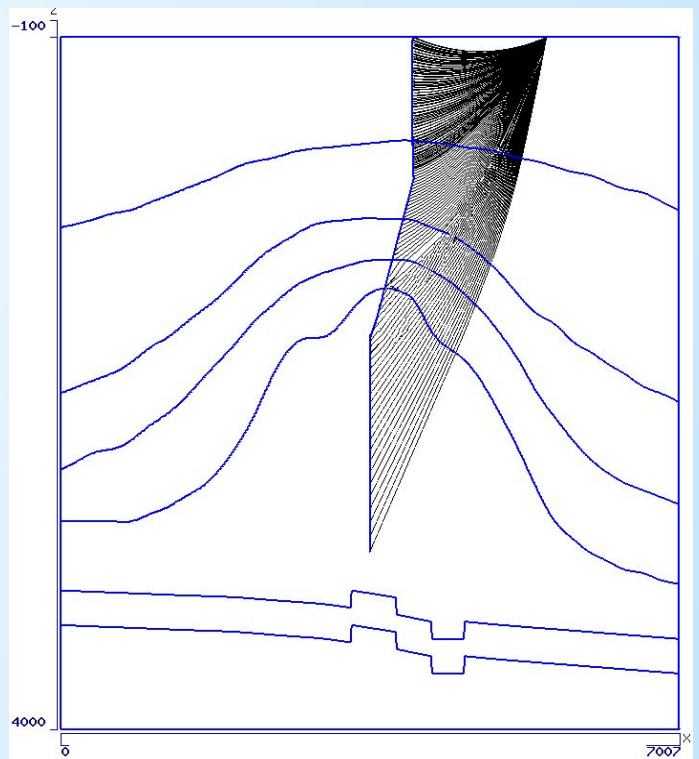
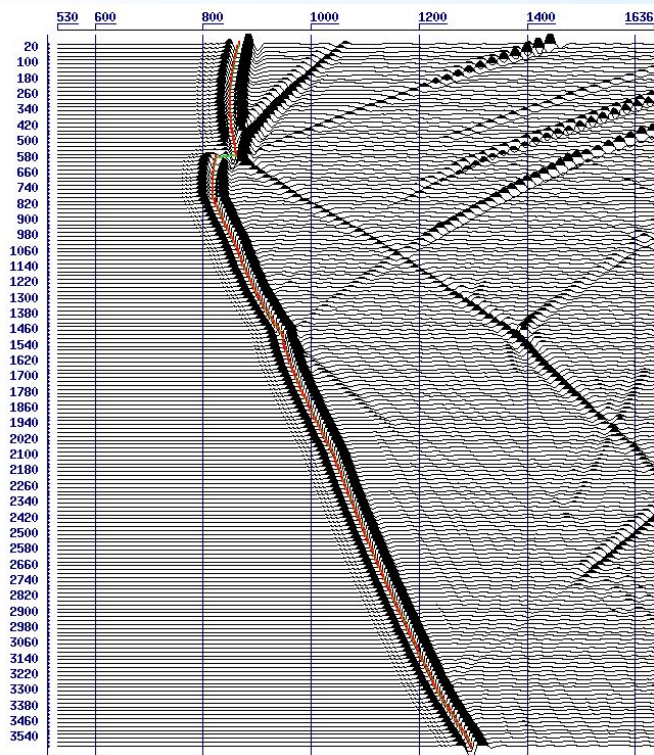
6. Технология ДДР

Технология обработки данных ВСП по методике ДДР состоит из нескольких процедур:

- 1. Построение первого приближения модели среды в результате решения обратной кинематической задачи по годографам и поляризациям всех визуально корректируемых волн.**
- 2. Для каждой волны от каждой границы модели выполняется расчет модельной волны с временем, амплитудами и поляризацией**
- 3. Выполняется оценка формы волны вдоль расчетного годографа с использованием расчетного распределения амплитуд и поляризации**
- 4. Выделенная волна вычитается из исходного поля и проецируется в точки рассеяния на изображение с пересчетом на коэффициент отражения продольной волны по внешней нормали к границе. Волны разных типов от одной точки границы накапливаются с весами пропорциональными их амплитуде. Процесс повторяется для всех типов волн и всех границ, пока на волновом поле не останется регулярных волн. Обрабатываются не только однократные, но и кратные волны.**

После получения изображения опорная модель может быть уточнена и процесс повторяется пока изображение с необходимой точностью не будет соответствовать модели.

На рисунках показан процесс расчета лучей и годографов и процесс выделения и вычитания волн.



7. Выводы

- В рамках технологии ДДР разработаны эффективные методы описания произвольных двумерных сред и методы расчета лучей в средах с переменными градиентами скоростей.
- Правильность расчета лучей в описанных средах подтверждается хорошим совпадением с результатами конечно-разностного моделирования.
- Технология ДДР позволяет:
 - итеративно решать двумерную обратную задачу для векторных волновых полей, совмещая и усовершенствуя, как процессы обработки (векторная селекция волн), так и вопросы интерпретации - построение изображения среды.