



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”

ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА "ПРИЛОЖНА ГЕОФИЗИКА"

маг. инж. Мая Любенова Григорова

**Технология за създаване на скоростни модели за дълбочинна
миграция
преди сумиране посредством сеизмична томография**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на
образователна и научна степен
„Доктор”

Професионално направление 4.4. Науки за Земята

Научна специалност „Методи и техника на геоложките изследвания“

Научен ръководител: проф. д-р Бойко Рангелов

Научен консултант: маг. инж. Иван Павлов

София, 2014

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Приложна геофизика“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София.

Пълният обем на дисертацията е 308 страници, 15 таблици и 191 фигури. Използваната литература обхваща 164 заглавия на кирилица и латиница. Дисертацията се състои от въведение, цел и задачи на дисертационния труд, девет части и приложение.

Експерименталните изследвания по дисертационния труд са извършени в геофизична компания „Рексимсеиз“ ЕООД, гр. София.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на открито заседание пред научно жури, назначено от Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ на 10.02.2015 г. от 15:00 часа в зала 175, Геологопроучвателен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, гр. София на заседание на научното жури в състав:

1. Проф. д-гн Стефан Сотиров Димовски – МГУ, катедра „ПГ“
2. Проф. д-р Бойко Кирилов Рангелов – МГУ, катедра „ПГ“
3. Проф. д-фн Петър Янков Ставрев – експерт, външен член
4. Проф. д-гн Стефан Боянов Шанов – експерт, външен член
5. Доц. д-р Йордан Миланов Йорданов – експерт, външен член

Резервни членове:

1. Проф. д-р Ради Георгиев Радичев – МГУ, катедра „ПГ“
2. Доц. д-р Любен Тихомиров Гугов – експерт, външен член

Автор: *маг. инж. Мая Любенова Григорова*

Заглавие: *Технология за създаване на скоростни модели за дълбочинна миграция преди сумиране посредством сеизмична томография*

Научен ръководител:

Проф. д-р Бойко Кирилов Рангелов

Научен консултант:

маг. инж. Иван Павлов

Материалите във връзка с предстоящата защита са на разположение на заинтересованите лица в сектор „Следдипломна квалификация“.

Съдържание на автореферата

Стр.

Въведение

Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на темата

Цел на дисертационния труд

Задачи на дисертационния труд

Част I - Литературен обзор

Част II – Теоретична част

II. 1. Същност на сеизмичните методи

II. 2. Метод на отразените вълни

II. 3. Общо описание на последователността от обработващи процедури

II. 4. Кинематична характеристика на вълните

II. 5. Съставяне на скоростен модел за миграционно преобразуване на сеизмичните данни във времевата област

II. 6. Миграционно преобразуване на сеизмичните данни във времевата област, посредством Кирхоф миграция преди сумиране

II. 7. Методи за дълбочинно преобразуване на сеизмичните данни

II. 8. Сеизмична томография

II. 9. Съставяне на скоростен модел за миграционно преобразуване на сеизмичните данни в дълбочинната област посредством използване на сеизмична томография

II. 10. Миграционно преобразуване на сеизмични данни в дълбочинната област, посредством Дълбочинна Кирхоф Миграция Преди Сумиране (ДКМПС) (Prestack Kirchhoff Depth Migration, PSDM)

II. 11. Сравнителен анализ на миграционните преобразувания във времевата и в дълбочинната област

Част III – Методика на изследването

III. 1. Обработка на данните във времевата област

III. 2. Критерии за оценка на качеството на получените резултати

III. 3. Описание на експеримента

III. 3. 1. Влияние на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на ДКМПС

III. 3. 2. Построяване на скоростен модел на средата за дълбочинна миграция преди сумиране чрез константно редуциране на скоростите и анализиране влиянието на грешките при съставянето на модела

III. 3. 2. 1. Анализ на влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране

III. 3. 2. 2. Построяване на скоростен модел на средата за дълбочинна миграция преди сумиране чрез константно редуциране на скоростите

III. 3. 3. Използване на каротажната информация за оптимизиране на скоростния модел на средата за ДКМПС и обвързване на данните в дълбочинната област

III. 4. Подготовка на изходните данни за дълбочинна трансформация

III. 5. Съставяне на скоростен модел на средата във времевата област

III. 6. Трансформиране на скоростния модел от времевата в дълбочинната област

III. 7. Кратка характеристика на обработката на данните в дълбочинната област

Част IV – Експериментални резултати

IV. 1. Влияние на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на ДКМПС

IV. 1. 1. Създаване на база данни в специализирания за извършване на дълбочинна миграция софтуер

IV. 1. 2. Апертурен тест (Impulse Test)

IV. 1. 3. Предварително лъчево трасиране

IV. 1. 4. Предварително (първоначално) миграционно преобразуване в дълбочинната област

- IV. 1.5. Анализ на получените резултати от предварителната ДКМПС
- IV. 1. 6. Подбор на хоризонти върху първоначалните дълбочинни модели получени съответно с Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ
- IV. 1. 7. Изчисляване на остатъчни кинематични поправки върху сеизмограми в дълбочинната област получени съответно с Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ
- IV. 1. 8. Сеизмична томография за определяне на скоростния модел за ДКМПС съответно при Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ
- IV. 1. 9. Трасиране на лъчите
- IV. 1. 10. ДКМПС с използване на коригираните след сеизмичната томография скоростни полета за Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ
- IV. 1. 11. Допълнителни процедури, приложени след ДКМПС с цел подобряване качеството на получените резултати
- IV. 1. 12. Оценка на качеството на получения резултат
- IV. 1. 13. Основни изводи за влиянието на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на ДКМПС
- IV. 2. Построяване на скоростен модел на средатата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите и анализиране влиянието на грешките при съставянето на модела
- IV. 2. 1. Анализ на влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за ДКМПС
- IV. 2.1.1. Предварително лъчево трасиране
- IV. 2.1.2. Предварително (първоначално) миграционно преобразуване в дълбочинната област
- IV. 2.1.3. Анализ на получените резултати от предварителната ДКМПС
- IV. 2.1.4. Подбор на хоризонти върху първоначалните дълбочинни модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето
- IV. 2. 1. 5. Изчисляване на остатъчни кинематични поправки върху сеизмограми в дълбочинната област, получени от дълбочинните модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето
- IV. 2. 1. 6. Сеизмична томография за определяне на скоростния модел за ДКМПС за моделите съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето
- IV. 2. 1. 7. Трасиране на лъчите
- IV. 2. 1. 8. ДКМПС с използване на подобрените след сеизмичната томография скоростни полета
- IV. 2. 1. 9. Допълнителни процедури, приложени след ДКМПС с цел подобряване качеството на получените резултати
- IV. 2. 1. 10. Качествен контрол на получените резултати
- IV. 2. 1. 11. Оценка на качеството на получения резултат
- IV. 2.1.12. Основни изводи за влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за ДКМПС
- IV. 2. 2. Построяване на скоростен модел на средата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите
- IV. 2.2.1. Предварително лъчево трасиране
- IV.2.2.2. Предварително (първоначално) миграционно преобразуване в дълбочинната област
- IV. 2.2.3. Анализ на получените резултати от предварителната ДКМПС
- IV. 2. 2. 4. Подбор на хоризонти върху първоначалните дълбочинни модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето за Модел_90%
- IV. 2. 2. 5. Изчисляване на остатъчните кинематични поправки върху сеизмограми в дълбочинната област, получени от Модел_90%
- IV. 2. 2. 6. Сеизмична томография за определяне на скоростния модел за ДКМПС за Модел_90%
- IV. 2. 2. 7. Качествен контрол на получените резултати
- IV. 2. 2. 8. Трасиране на лъчите
- IV. 2. 2. 9. ДКМПС с използване на подобреното след сеизмичната томография скоростно поле
- IV. 2. 2. 10. Допълнителни процедури, приложени след ДКМПС с цел подобряване качеството на получените резултати

- IV. 2. 2. 11. Оценка на качеството на получения резултат
- IV. 2. 2. 12. Основни изводи при построяване на скоростен модел на средата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите
- IV. 3. Сравнителен анализ на резултатите от трансформиран в дълбочинната област разрез и разрез получен посредством ДКМПС
- IV. 4. Използване на каротажната информация за оптимизиране на скоростния модел на средата за ДКМПС и обвързване на данните в дълбочинната област
- IV. 4. 1. Геолого-геофизично обвързване на данните от модела получен от директната трансформация Време - Дълбочина
- IV. 4. 2. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модела получен вследствие на резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните
- IV. 4. 3. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модела получен вследствие на намалени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ
- IV. 4. 4. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модела получен вследствие на увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ
- IV. 4. 5. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модел_100%
- IV. 4. 6. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модел_90%
- IV. 4. 7. Основни изводи за оптимизиране на скоростния модел на средата за целите на ДКМПС и обвързване на данните в дълбочинната област посредством сондажни данни
- V. Общи изводи
- Приноси в дисертационния труд
- Заклучение
- VII. 1. Публикации по дисертационния труд
- VII. 2. Доклади на научни форуми, конференции, симпозиуми и др.
- Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд

Изказвам благодарността си към моя научен ръководител **проф. д-р Бойко Рангелов** за ценните съвети и напътствия, за придобитите знания, за помощта и моралната подкрепа, която ми оказва през целия период на редовната ми докторантура.

Изказвам благодарността си към моя научен консултант **маг. инж. Иван Павлов** за цялостната му ангажираност и подкрепа още от времето на моето начално професионално развитие. Благодаря му за напътствията при изграждането на професионалните ми знания, опит и умения, за отношението на всеотдайност и безкористност към научно-изследователската работа.

Изследователската част на тази дисертация е осъществена в геофизична компания **„Рексимсеиз“ ЕООД**. Изказвам специална благодарност за предоставените програмни продукти с помощта, на които бяха реализирани експерименталните изследвания в настоящия труд.

Благодаря и на всички членове от катедра “Приложна геофизика” към Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски” за полученото съдействие.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сеизмичните проучвания намират широко приложение в процеса на търсене и проучване на въглеводородни залежи. Нарастващите потребности от енергийни суровини изискват непрекъснато усъвършенстване както на методите и средствата за търсене и проучване на нови находища, така и на процедурите прилагани при обработката на сеизмичните данни. Търсят се разнообразни подходи за получаване на високоразрешаващи изображения, които позволяват все по-детайлно да бъде изследван всеки сантиметър от получените сеизмични разрези, което от своя страна да доведе до повишаване достоверността на последващата интерпретация на данните. През последните години напредъка на сеизмичната томография дава силен тласък в развитието на високо разрешаващите сеизмични изображения. Основен момент при получаването на високоразрешаващи дълбочинни изображения се явява построяването на адекватен и детайлен скоростен модел на средата чрез сеизмична томография. Прецизното съставяне на скоростите, с които е създаден сеизмичния разрез в дълбочинната област, е ключов фактор за адекватната оценка на подповърхностната среда.

Фигурите в текста на автореферата следват оригиналната номерация от текста на дисертацията.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на темата

Понастоящем изискванията за получаване на високоразрешаващи сеизмични изображения налагат търсенето на различни подходи в обработката и интерпретацията на данните. Създаването на дълбочинни разрези посредством Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране (ДКМПС) е основен момент за постигането на по-надеждни и по-информативни сеизмични разрези, които от своя страна биха довели и до по-реалистична и достоверна интерпретация на данните. Дълбочинната миграция на сеизмичните данни се прилага за изобразяване на терени със сложен геоложки строеж, при наличие на стръмно залягащи структури, силни вариации на скоростта в латерална посока, разломни повърхнини или в области с рязко изменяща се геоложка обстановка.

Цел на дисертационния труд

Основната цел на дисертационния труд е насочена към създаване на технологична схема за съставяне на прецизен скоростен модел на средата за Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране, посредством използването на сеизмична томография в комбинация с анализ на остатъчните кинематични поправки и нейното прилагане в сеизмопроучвателната практика.

Задачи на дисертационния труд

За постигане на поставената цел, в процеса на работа са решени няколко основни задачи в дълбочинната област:

- 1). Изграждане на конкретна методика при извършване на ДКМПС с използването на сеизмичната томография и корекцията на остатъчни кинематични поправки;
- 2). Избор на подходящ оператор за изглаждане полето на скоростите;

- 3). Изследване на полето на скоростите за наличие на аномални участъци и уточняване на причините за появата им;
- 4). Изучаване на ефекта от наличието на аномални участъци в полето на скоростите и начина, по който тези аномалии се отразяват върху ДКМПС;
- 5). Изучаване ефекта от редуциране или завишаване на полето на скоростите във връзка с търсенето на подходящ скоростен модел за ДКМПС;
- 6). Изследване влиянието на остатъчните скорости, приложени след ДКМПС;
- 7). Геолого-геофизично обвързване на резултатите от ДКМПС с налични за района сондажно-геофизични данни.

Част I - Литературен обзор

Извършеният литературен обзор включва сведения за историческото развитие на томографските изследвания за целите на сеизмичните методи, както и анализ на съвременното състояние на проблема. Разгледани са още и миграционните преобразувания на сеизмичните данни като инструмент за повишаване резолюцията на сеизмичните разрези.

Част II – Теоретична част

II. 1. Същност на сеизмичните методи

При прилагане на 2D и 3D сеизмични методи на проучване акустичните вълни се предизвикват чрез изкуствено възбуждане на земната повърхност с взривни и невзривни източници.

При разпространението си в дълбочина, тези вълни срещат границите на различните по литология скални комплекси. Благодарение на това, че съществува скок в еластичните свойства (вълновото съпротивление) на скалите, се образуват отразени вълни, които се завръщат обратно към повърхността на Земята, където се регистрират от приемници на сигнала [Добрев, Т., 1984].

След систематизиране на записите на сеизмичните вълни, получени в различни точки на повърхността или в сондажи, на сеизмограмата могат да се разграничат импулсите, предизвикани от пристигането на различни по вид сеизмични вълни – отразени или пречупени. Това дава възможност да се определи положението на отделните граници на разреза, на които се пречупват и отразяват вълните.

II. 2. Метод на отразените вълни

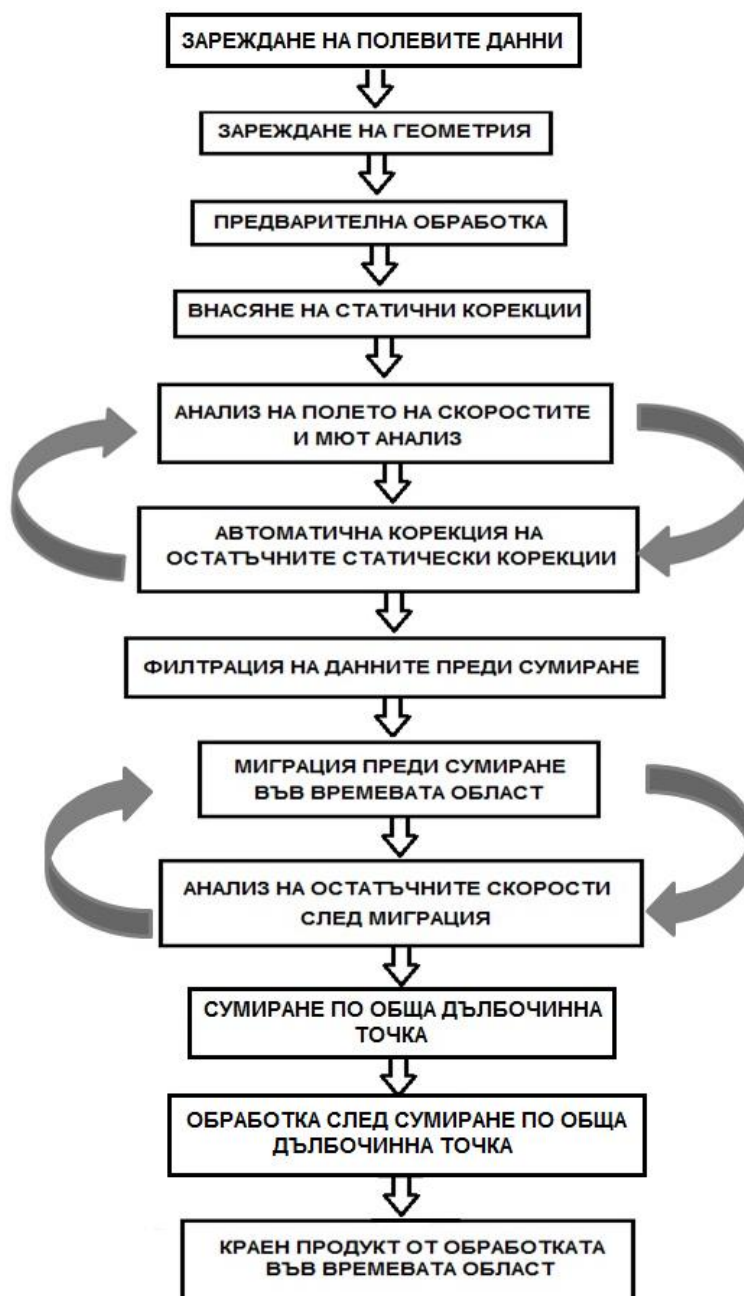
Методът на отразените вълни (МОВ) се основава на изучаването на отразените вълни. За да възникнат отразени вълни на границата на два пласта, те трябва да имат различни вълнови съпротивления. Вълновото съпротивление (Acoustic Impedance) се представя като произведение на скоростта по плътността. Разликата в импеданса на отделните пластовете в земята води до появата на отразени вълни, които се регистрират на земната повърхност под формата на сеизмичен запис.

Най-широко прилаганият метод за регистрация на отразени вълни е методът на общата дълбочинна точка, поради възможността при използването на този метод да се потискат пречещите вълни и така да се подобри значително съотношението сигнал-шум на данните. При метода обща дълбочинна точка, различните сеизмични станции се подреждат така, че дълбочинните точки теоретично да се припокриват и трасетата да имат различни пътища на придвижване на сигнала, но общи дълбочинни точки [Leskinen, D., 1975].

По този начин трасета от различни записи изобразяват една и съща дълбочинна точка няколко пъти. Така се получава натрупване на данни и се повишава качеството на изображението.

II. 3. Общо описание на последователността от обработващи процедури

Процедурите, използвани за обработка на сеизмични данни във времевата област могат да се различават в зависимост от конкретните условия, но по отношение на тяхната последователност графа на обработката включва следните основни етапи:



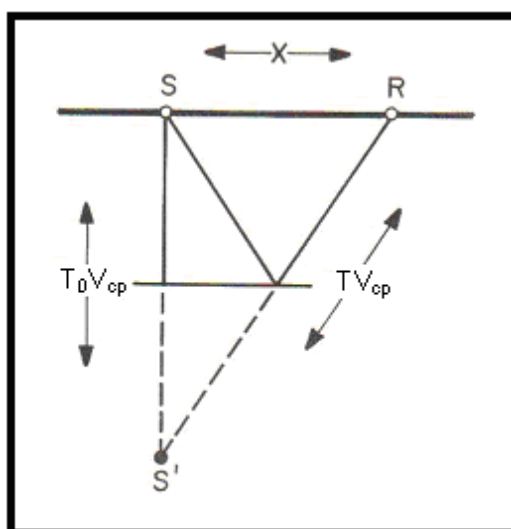
Фиг. 15. Алгоритъм за обработката на сеизмични данни във времевата област

II. 4. Кинематична характеристика на вълните

Кинематичната характеристика представлява разликата във времената на пристигане на вълната с отдалечаване от източника. По този начин с увеличаване на разстоянието източник – приемник закъснението при регистриране на вълната в приемника става все по-голямо, което води до параболичната форма на ходографа на отразената вълна [Yilmaz, Ö. 2001].

Ако се проектира позицията на източника S в точката S' , така че разстоянието $SS' = T_0 V_{cp}$ се образува правоъгълен триъгълник ($SS'R$) и според Питагоровата теорема:

$$T^2 V_{cp}^2 = T_0^2 V_{cp}^2 + x^2 \quad (15)$$



Фиг. 20. Графично изображение за извеждане формулата на кинематичната поправка

Тъй като $T = T_0 + \Delta T$ следва, че:

$$(T_0 + \Delta T)^2 V_{cp}^2 = T_0^2 V_{cp}^2 + x^2 \quad (16)$$

$$(T_0 + \Delta T)^2 = T_0^2 + \frac{x^2}{V_{cp}^2} \quad (17)$$

$$T_0 + \Delta T = \sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_{cp}^2}} \quad (18)$$

$$\Delta T = \sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_{cp}^2}} - T_0 \quad (19)$$

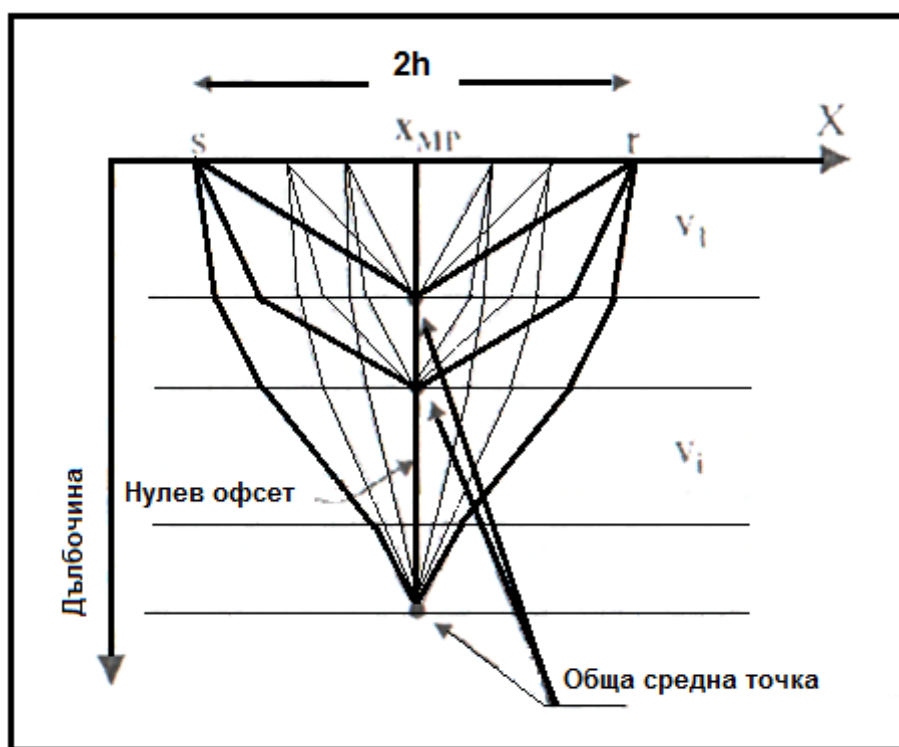
Оттук следва, че кинематичната характеристика е функция от средната скорост, разстоянието между източника и приемника и времето, за което вълната изминава пътя от източника до отражателната граница и обратно.

II. 5. Съставяне на скоростен модел за миграционно преобразуване на сеизмичните данни във времева област

В скоростния анализ основна цел се явява намирането на подходяща функция на скоростта спрямо времето, която да осигури най-добра кинематична поправка.

На фигура 25 моделната среда е изградена от N на брой хоризонтално позиционирани пласта с различна дебелина и интервални скорости. На практика това е модела на Дикс. Времето за пробег на вълната от източника S , разположен на земната повърхност, през земните пластовете до дадена гранична повърхност P на дълбочина Z и оттам до приемника на повърхността в точка R може да се използва за определяне на скоростите за сумиране, с които да бъде извършена миграция на данните.

Основавайки се предположението, че пластовете изграждащи земната кора са хоризонтално разположени, може да се приеме, че трасета записани с един и същи офсет имат и едни и същи отражателни точки под повърхността.



Фиг. 25. Модел на Дикс

Така изобразения модел дава представа за времето на пробега на вълната спрямо разстоянието, което тя изминава под повърхността, а формулата:

$$t^2(h, z) \approx t_0^2 + \frac{4h^2}{V_{rms}^2(z)} \quad (24)$$

е основа за получаване на скоростите за сумиране, където $t_0 = \frac{2z}{V_{ave}(z)}$ е времето за

пробег на вълната в нулевия офсет;

h – разстояние от източника до приемника;

z – дълбочина;

V_{rms} - средноквадратични скорости (RMS) до дълбочина z ;

V_{ave} - средни скорости до z .

Кинематичната корекция има за цел да коригира времето на пристигане на вълната във всеки следващ офсет, като го редуцира до времето на пристигане на вълната в нулевия офсет t_0 . За даден офсет h , където вълната е регистрирана с време t_h тази корекция ще бъде:

$$t_0 = \sqrt{t_h^2 - \left(\frac{2h}{V_{NMO}}\right)^2} \quad (25)$$

където:

V_{NMO} - скорости за сумиране;

$$\Delta t_{NMO} = t_h - t_0$$

Δt_{NMO} нараства с времето, което води до хиперболичната форма на ходографа на отразената вълна.

Така подобрите скорости, използвани за корекция на кинематиката, се коригират до едно условно време:

$$t_1^2(h) = t^2(h) - \frac{4h^2}{V_{init}^2(t_0)} \quad (26)$$

В случай, че V_{init} са много близки до оптималните скорости за сумиране тогава $t_1(h)$ ще бъде равно на t_0 . При условие, че това не е така се налага допълнително коригиране. Финалните скорости за сумиране ще се получат по следния начин:

$$\frac{1}{V_{final}^2(t_0)} = \frac{1}{V_{init}^2(t_0)} + 2t_0 p(t_0) \quad (27)$$

където: p е остатъчната корекция за време t_0 .

Тази корекция може директно да бъде приложена върху данните и се нарича остатъчна кинематична корекция. Така на практика финалните скорости за сумиране се получават като сума от първоначалните и остатъчните скорости:

$$\frac{1}{V_{final}^2} = \frac{1}{V_{init}^2} + \frac{1}{V_{res}^2} \quad (28)$$

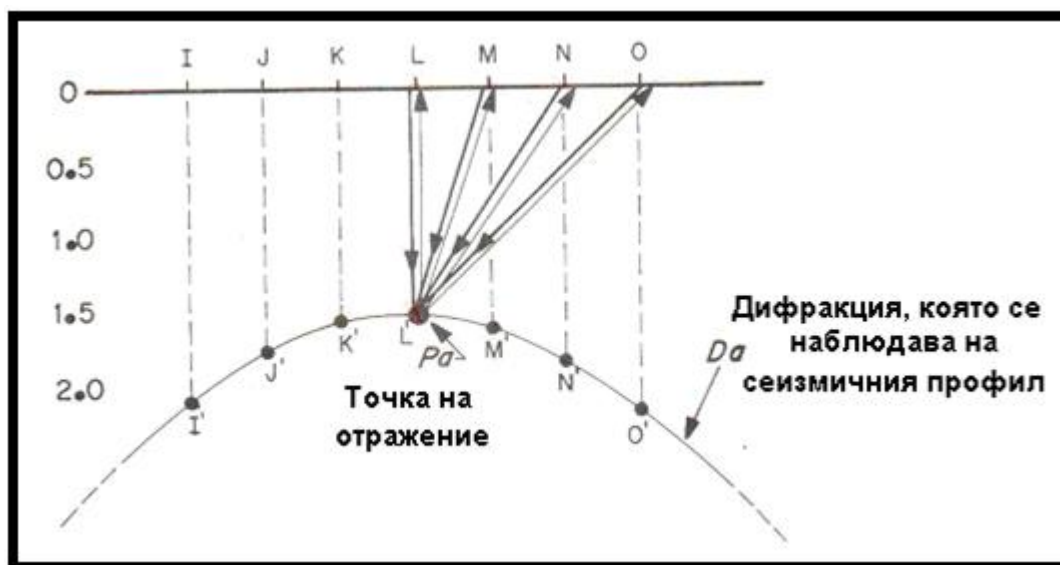
II. 6. Миграционно преобразуване на сеизмичните данни във времевата област, посредством Кирхоф миграция преди сумиране

В случаите, когато отразяващата граница е наклонена или разломена повърхност е възможно да се наблюдава явлението дифракция.

Тези вълни се образуват от дифракционни точки (възли), разположени на различни дълбочини в земната кора.

За да се коригират подобни ефекти върху сеизмичните данни се прилага процедурата миграция. Миграцията премества дифракционните възли до техните реални позиции в под-повърхностното пространство. Тази позиция се определя от времето на пристигане на отразената вълна, наклона на отразяващата граница и скоростта на вълната в съответната среда [Sheriff & Geldart, 1995].

За определяне на положението, във времето и пространството, където отражението ще бъде преместено след миграцията може да се изхожда от дифракционната диаграма.



Фиг. 29. Илюстрация на дифракционна диаграма

Точката на отражение се явява тангенциална спрямо вълновия фронт след прилагане на миграция.



Фиг. 31. Сегмент от дифракционна крива подлежащ на миграция

Известни са различни алгоритми за извършване на миграция, като най-често прилаган в практиката е алгоритъма на Кирфов миграцията преди сумиране (Pre-Stack Kirchhoff Time Migration):

$$T = T_S + T_R \quad (35)$$

$$T_S = \sqrt{\left[\left(\frac{t}{2}\right)^2 + \left(\frac{R_S^2}{V^2}\right)\right]} \quad (36)$$

$$T_R = \sqrt{\left[\left(\frac{t}{2}\right)^2 + \left(\frac{R_G^2}{V}\right)} \right] \quad (37)$$

където:

- T_S – времето на пристигане на вълната от източника до точката на миграция;
- T_R – времето на пристигане на вълната от точката на миграция до приемника;
- t – времето на пристигане на вълната в мигрираната точка след миграцията ѝ.
- V – скорост на средата в точката на миграция;
- R_S – разстояние от източника до точката на миграция;
- R_G – разстояние от приемника до точката на миграция.

Кирфов миграцията преди сумиране се осъществява, като се има предвид факта, че формата на дифракционната крива зависи от отдалечението от източника. Така например дифракционната крива от в точка D на дълбочина $h_0 = \frac{v\tau}{2}$ може да се запише под формата на квадратно уравнение:

$$t(X_G) = \frac{1}{v}\sqrt{X_G^2 + h_0^2} + \frac{1}{v}\sqrt{(X_G + l)^2 + h_0^2} \quad (32)$$

където:

- X_G – координата на приемника в точка G;
- l – отдалечение на приемника G от източника S.

Така лъчите следват характера на изменение на дифракционната крива в зависимост от отдалечението от източника.

II. 7. Методи за дълбочинно преобразуване на сеизмичните данни

В процеса на обработка на сеизмични данни миграционното преобразуване на данните се явява последният етап на обработката, чиято цел се свързва с коректното позициониране на конфликтните отражателни повърхнини, като по този начин се смята, че полученото изображение е адекватна илюстрация на под повърхностната среда във времевата област. Тъй като крайният продукт на едно геолого-геофизично изследване се представя във вид на дълбочинен разрез е необходимо получените сеизмични разрези във времевата област да се трансформират в дълбочинната област.

Съществуват множество методи за трансформиране на времеви разрез в дълбочинен. Основно методите могат да се поделят на две големи групи:

- ❖ Директна трансформация време – дълбочина;
- ❖ Съставяне на скоростен модел за обработка на данните в дълбочинната област (ДКМПС).

При директната трансформация на времеви хоризонт в дълбочинен се използва уравнението:

$$Z = \frac{TV_{(ave)}}{2} \quad (38)$$

където:

- T – времето за пробег на вълната в нулевия офсет;

Z – дълбочина;

$V_{(ave)}$ – средни скорости до дълбочина Z .

Другата група методи за дълбочинно преобразуване включва съставяне на скоростен модел за дълбочината трансформация. Този подход се отличава като по-надежден, а резултатите като по-достоверни. Причина за това е, че така съставения скоростен модел може да бъде оценен числено и визуално за геоложки несъответствия (напр. отрицателни стойности на скоростта, скоростта не се увеличава в дълбочина и т.н).

Дълбочинното преобразуване посредством съставянето на скоростен модел на средата се отличава като по-детайлен подход, а резултатите като по-надеждни. Самото преобразуване е итерационен процес, който завършва с определяне на оптималните скорости за дълбочинната трансформация.

II. 8. Сеизмична томография

Терминът „томография” се отнася главно до използването на определени техники, които позволяват да се изследват физичните характеристики на трудно достъпни или недостъпни обекти, чрез използване на информацията пренасяна от акустичните вълни преминали през тези обекти.

Томографията в сеизмиката може да се раздели на два основни дяла:

1. Дифракционна томография, базирана на вълновото уравнение;

2. Лъчева томография, основана на пътя на разпространение на вълновия лъч в под-повърхностната среда.

Основавайки се на твърдението, че дължината на вълната е много по-малка от размера на нееднородностите в средата, разпространението на сеизмичната енергия може успешно да се опише чрез пътя на лъчите на сеизмичните вълни.

При условие, че дължината на вълната е много по-малка от размера на аномалията най-подходяща е лъчевата томография, използваща информация за времената на регистриране на вълните.

В обратния случай, когато размера на аномалния обект е много по-малък от дължината на вълната се прилага дифракционната томография.

В лъчевата томография двумерната средата може да се представи като мрежа от правоъгълни елементи. Във всеки един от елементите на мрежата параметърът

забавяне (реципрочен на скоростта) е константа: $s_j = \frac{1}{V_j}$

В резултат на това изчисленото време на пробег на вълната преминаваща през тези клетки може да се представи като:

$$t_k^{calc} = \sum_{j=1}^N d_{kj} s_j \quad (43)$$

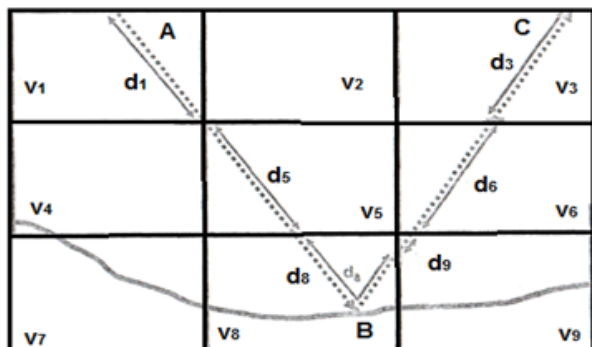
където:

t_k^{calc} - изчисленото време на пробег на k -тия лъч;

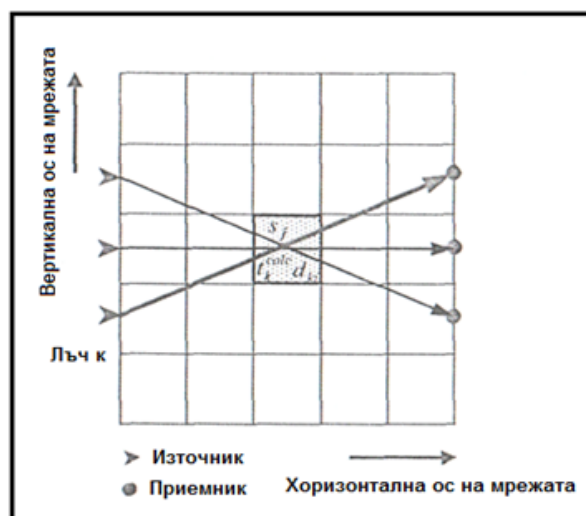
d_{kj} - дължината на пътя на k -тия лъч в j -тата клетка;

s_j - забавянето в j -тата клетка;

N – брой на клетките в мрежата.



Фиг. 40. Мрежа от правоъгълни клетки описваща действието на лъчевата томография, при праволинеен ход на лъчите



Фиг. 41. Мрежа описваща поведението на три примерни праволинейни лъча

II. 9. Съставяне на скоростен модел за миграционно преобразуване на сеизмичните данни в дълбочинната област посредством използване на сеизмична томография

Дълбочинната миграция се осъществява главно на основата на скоростно-дълбочинен модел на средата, който е представен от основните отражателни граници и интервалните скорости между тях. В случай, че скоростния модел на средата е определен точно, то тогава и дълбочинната миграция позиционира граничните повърхности с висока точност.

Самият скоростно-дълбочинен модел има за цел да покаже по какъв начин е разделена подповърхностната среда по отношение на отделните пластовете и формации, тъй като всяка част от средата се характеризира с отличителни скоростни вариации [Cameron et al., 2006].

Ограничените възможности за оценка на скоростния модел и възникващия проблем, свързан с неопределеността на скоростта в дълбочина, водят до необходимостта от уточняване и детайлизиране на първоначалния скоростен модел за извършване на дълбочинна миграция. Уточняването на скоростния модел се състои в определяне и компенсиране на остатъчната кинематика.

При използване на сеизмограми за локални уточнения на началния скоростен модел на основа на аналогията с анализа на остатъчните скорости, се използват спектралните анализи на сеизмограмите включени в анализа. В следствие на анализа на остатъчните скорости, ако скоростната функция е коректно подбрана би следвало отраженията да са позиционирани хоризонтално.

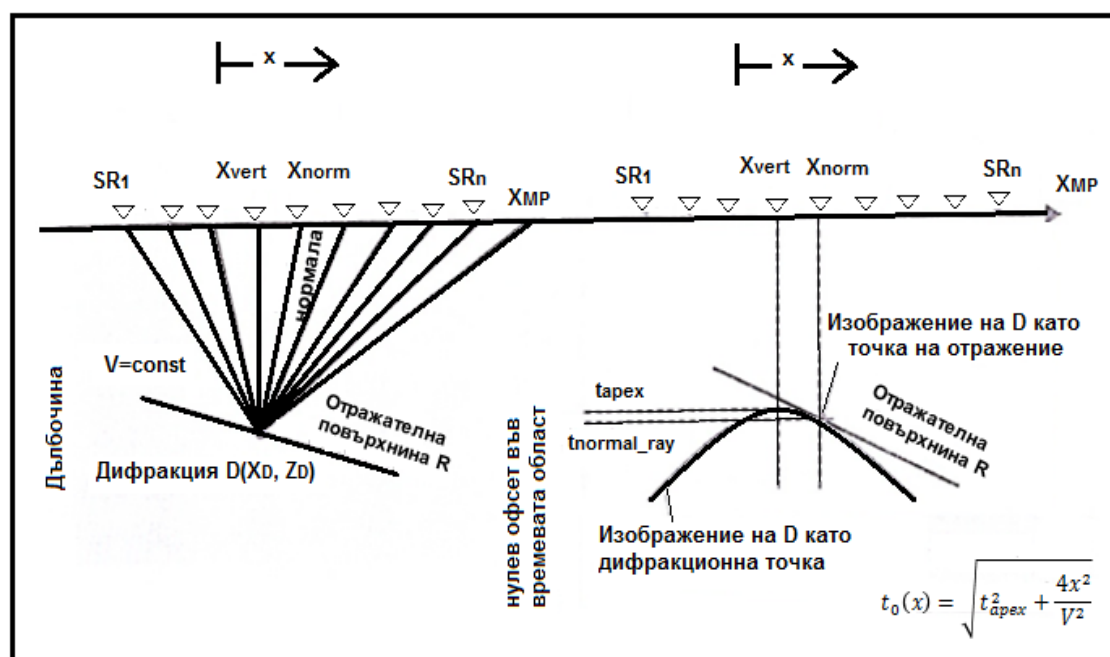
Някои грешки в определянето на скоростта на даден слой или конфигурацията на пластовете в модела, също могат да предизвикат изкривяване на ходографите и наличие на остатъчна кинематика. По такъв начин остатъчната кинематика може да бъде използвана за обновяване и оптимизиране на модела. С така получения обновен скоростно-дълбочинен модел се извършва дълбочинна миграция.

II. 10. Миграционно преобразуване на сеизмични данни в дълбочинната област, посредством Дълбочинна Кирхоф Миграция Преди Сумиране (ДКМПС) (Prestack Kirchhoff Depth Migration, PSDM)

Основните принципи на дълбочинната миграция преди сумиране са базирани на Кирховската миграция.

Дълбочинна миграция на сеизмичните данни се налага в случаите когато се наблюдават сериозни изменения в скоростния модел на средата както в латерална така и във вертикална посока. При такива условия е възможно миграцията на сеизмичните данни във времевата област да дава неуверени резултати, които впоследствие да доведат до недостоверно тълкуване на сеизмичната обстановка [Jones, E., 2010].

В изобразения модел на фигура 50, при наличие на еднородна среда, точка D не е изолирана точка на дифракция, а е част от отражателната повърхнина. Основавайки се на принципа на Хюйгенс, че всяка точка от отражателната повърхнина може да се възприеме като точка на дифракция. Следователно според принципа на суперпозицията отражателната повърхнина е сума от точки на дифракция. Самата дифракционна крива на точката D се явява тангенциална към отражателната повърхност в точката лежаща директно под точка x_{norm} на повърхността, от която произхожда нормалата към точка D.



Фиг. 50. Схематично изображение в нулевия офсет на отражателна и дифракционна повърхнини

Вземайки предвид, че $X = X_{MP} - X_D$, тогава уравнението на дифракционната хипербола има вида:

$$t_0(x) = \sqrt{t_{apex}^2 + \frac{4x^2}{V^2}}, \quad (68)$$

където:

$$t_{apex} = \frac{2z_D}{V};$$

t_0 – двойно време за пробег на вълната в нулевия офсет;
 $t_{арех}$ - двойно време за пробег на вълната по вертикалата.

ДКМПС се отличава с някои по-важни особености:

- При ДКМПС изображенията се създават „точка по точка“, което означава, че всяка точка от изображението се възприема като отделна дифракционна точка. Така мигрираното изображение представлява сума от множество разположени една до други точки на дифракция.
- Размера на апертурата ограничава наклоните на отразяващите повърхнини и също така влияе на резолюцията на мигрираните изображения.
- Важна характеристика на ДКМПС е възможността да се наблюдават в процеса на итерациите дълбочинните сеизмограми, които служат за контрол на качеството на миграцията [Robein, E., 2003].

II. 11. Сравнителен анализ на миграционните преобразувания във времевата и в дълбочинната област

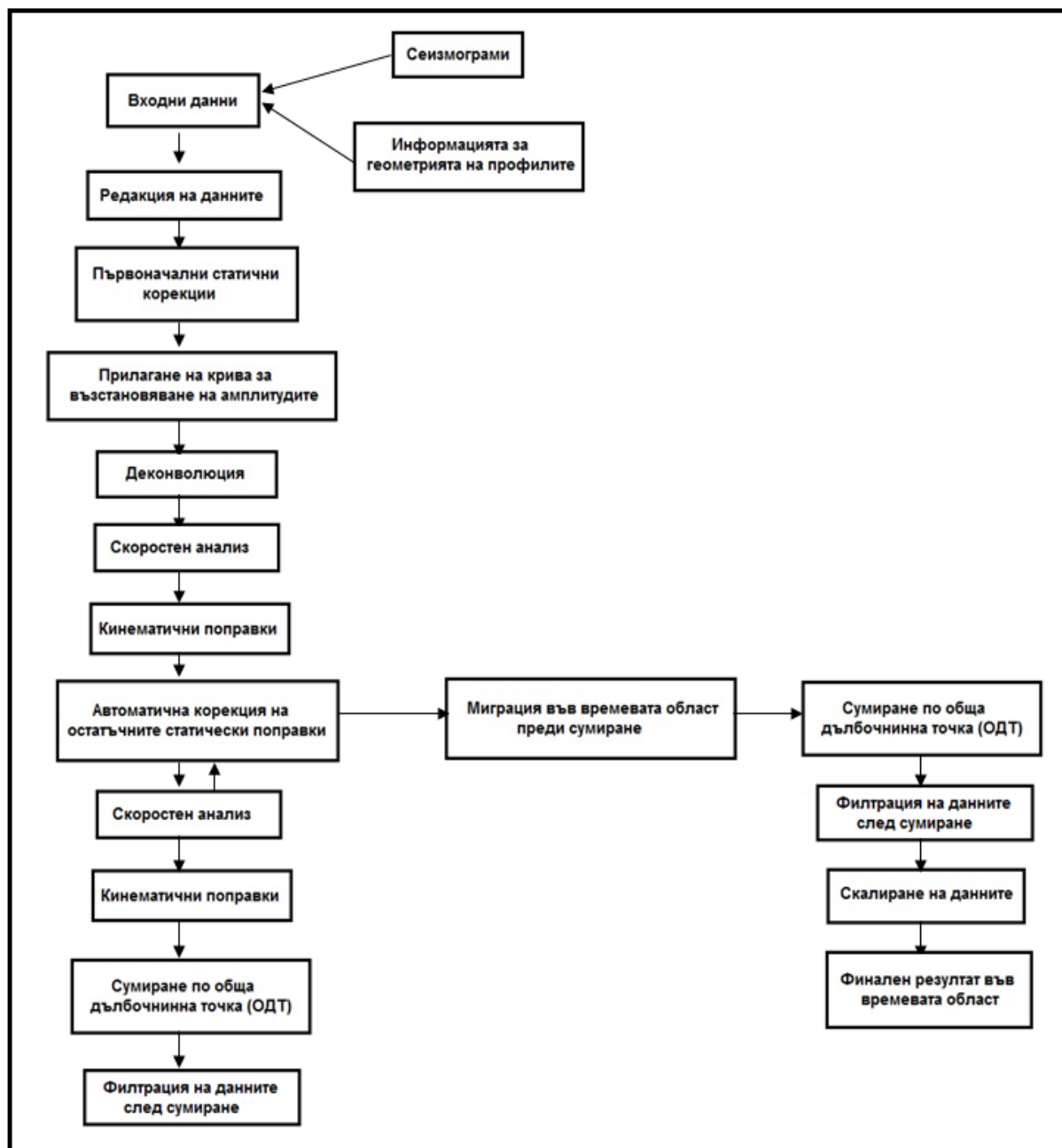
Времевата и дълбочинната миграция, се различават значително главно по две причини:

- При времевата миграция сеизмичните лъчи, идващи от точката на дифракция се приемат за праволинейни и сумираните амплитуди на трасетата са тези, дошли от дифракционната хипербола. Дълбочинната миграция от своя страна взема под внимание още скоростно-дълбочинния модел, като използва не праволинейните, а реалните криволинейни, рефрактирали лъчи, идващи от източника в точката на дифракция и оттам обратно до приемниците. Следователно се разглеждат реалните времена на пристигане на вълната от произволна двойка източник-приемник за всички точки от мигрираното изображение;
- Като друга основна разлика между времевата и дълбочинната миграция може да се посочи начина, по който скоростта влияе върху ходографите. Времевата миграция не отчита коректно латералните изменения в скоростта, за разлика от дълбочинната миграция, която отчита такива вариации, създавайки изображение адекватно на конкретните геолого-геофизични условия.

Част III – Методика на изследването

III. 1. Обработка на данните във времевата област

За целите на изследването на сеизмичните данни предварително са приложени следните обработващи процедури за потискане на шумове (кохерентни и некохерентни) от различен характер и за повишаване съотношението сигнал / шум:



Фиг. 51. Алгоритъм на последователността от обработващи процедури във времевата област

III. 2. Критерии за оценка на качеството на получените резултати

Целта на обработващите процедури, прилагани върху сеизмичните данни както във времевата, така и в дълбочинната област, е свързана с получаването на краен продукт, чийто характеристики отговарят на следните критерии:

- 1). Разрешаваща способност на получените резултати – вертикална и хоризонтална;
- 2). Честотен състав на получените резултати;
- 3). Продължителност на отразяващите повърхнини по протежението на профила;

- 4). Проследяване за наличие или отсъствие на участъци от профила, характеризиращи се с ниско качество на сигнала, неравномерно разпределение на амплитудите по профила.
- 5). Наличието или отсъствието на нарушения, скъсвания и остатъчни ходографи на дифракции, свързани с геоложки причини или определени неточности в процеса на обработката на данните.
- 6). Структурна логичност и издържаност на разреза.
- 7). Интерпретируемост на данните, свързана с използването им за целите на структурната интерпретация и възможността за геолого-геофизично обвързване със сондажно-геофизична информация.

III. 3. Описание на експеримента

За целите на изследването са проведени експерименти с използването на едни и същи сеизмични данни и различни модификации на скоростния модел с цел създаване на приложно-технологична схема за създаване на най-подходящ скоростен модел на средата за целите на ДКМПС включително с използването на сеизмичната томография.

III. 3. 1. Влияние на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на ДКМПС

Ключов елемент при извършването на ДКМПС се явява правилно съставения скоростен модел на данните. Допълнителната обработка на скоростния модел включва неговото изглаждане с подходящ оператор за изглаждане. Необходимостта от изглаждане на скоростните функции е породена от изискването за извършване на ДКМПС. Известно е, че процедурата работи добре при липса на резки аномалии в полето на скоростите, като дори малки изменения в полето водят до големи разлики в съставените дълбочинни изображения.

III. 3. 2. Построяване на скоростен модел на средата за дълбочинна миграция преди сумиране чрез константно редуциране на скоростите и анализиране влиянието на грешките при съставянето на модела

Целта на експериментите описани в Част III на дисертационния труд е да се анализира онази част от предложената технологична схема, която създава условията да се подбере най-подходящия скоростен модел за извършване на ДКМПС, вземайки под внимание поведението на скоростните полета при тяхното процентно модифициране и анализа на възможни грешки при определяне на скоростните функции.

III. 3. 2. 1. Анализ на влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране

Постигането на коректен скоростен модел като изходна точка за адекватна ДКМПС е комплексна и сложна задача. Възможността за допускане на грешка при определянето на модела е фактор, чието подценяване води до появата на несъществуващи реално геоложки структури.

III. 3. 2. Построяване на скоростен модел на средата за дълбочинна миграция преди сумиране чрез константно редуциране на скоростите

Важна част при извършване на ДКМПС е необходимостта да се изследва влиянието на процентно модифицирани скоростни полета, с цел изясняване на диапазона на влияние на малки отклонения в точността на скоростното поле върху действието на ДКМПС.

III. 3. 3. Използване на каротажната информация за оптимизиране на скоростния модел на средата за ДКМПС и обвързване на данните в дълбочинната област

Обработката на сеизмични данни както във времевата, така и в дълбочинната област има за цел да създаде продукт, който не само се отличава с висока разрешаваща способност, но и чийто качествени характеристики да позволяват извършването на надеждна геоложка интерпретация. За целите на успешната последваща геоложка обработка на геофизичните разрези от ключово значение е тяхното стабилно обвързване с налични сондажно-геофизични данни.

III. 4. Подготовка на изходните данни за дълбочинна трансформация

Като входни данни за извършване на ДКМПС се използват обработени несумирани сеизмограми, без приложена кинематична поправка, при чиято предварителна обработка е постигнато максимално съотношение сигнал / шум.

III. 5. Съставяне на скоростен модел на средата във времевата област

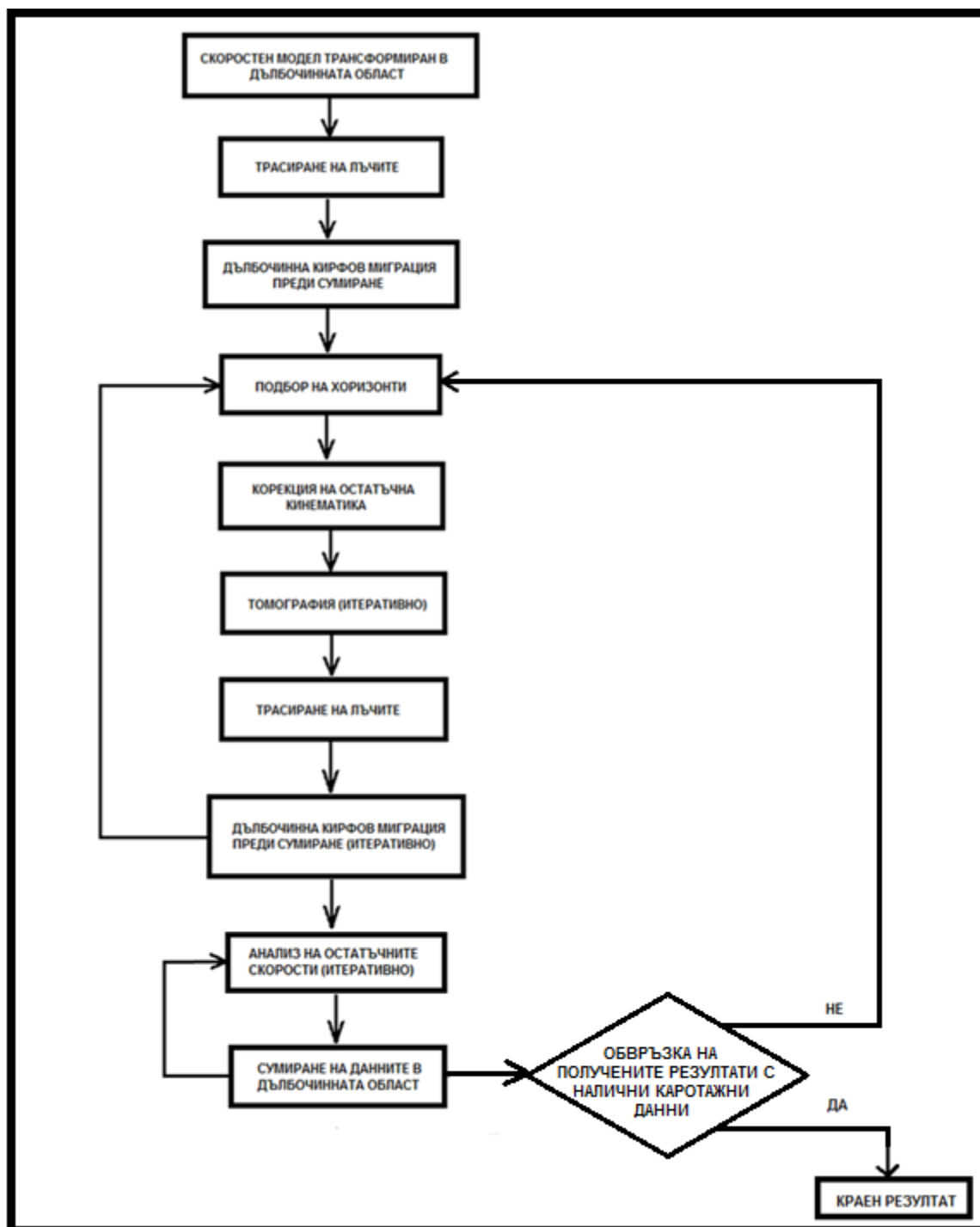
За избрания експериментален сеизмичен профил с помощта на интерактивен софтуер (ProMAX®, Seismic Data Processing Software) е създаден скоростен модел на средата във времевата област чрез пикиране на скоростите за сумиране по ОДТ сеизмограмите.

III. 6. Трансформиране на скоростния модел от времевата в дълбочинната област

Трансформацията на полученото поле на скоростите в дълбочинната област се извършва посредством манипулация на скоростния модел с използването на ProMAX® Seismic Data Processing Software.

III. 7. Кратка характеристика на обработката на данните в дълбочинната област

Избрания граф на обработка на данните в дълбочинната област се състои от няколко поредни процедури, като част от тях се повтарят итеративно до постигане на задоволителни резултати.



Фиг. 53. Алгоритъм на предложената последователността от процедури при изпълнението на ДКМПС

Част IV – Експериментални резултати

Тук са представени концентрирано най-важната част от многобройните числени експериментни работи по създаването на Технологична схема на ДКМПС с използването на сеизмичната томография и остатъчни кинематични поправки при създаването на скоростния модел на средата.

Изследванията са извършени върху един и същ сеизмичен разрез, чийто характеристики са подходящи за демонстриране на планираните експерименти. Профилът е с дължина 50710 фута, състои се от 460 ОДТ, минималния и максималния офсет са съответно 1210 фута и 11600 фута.

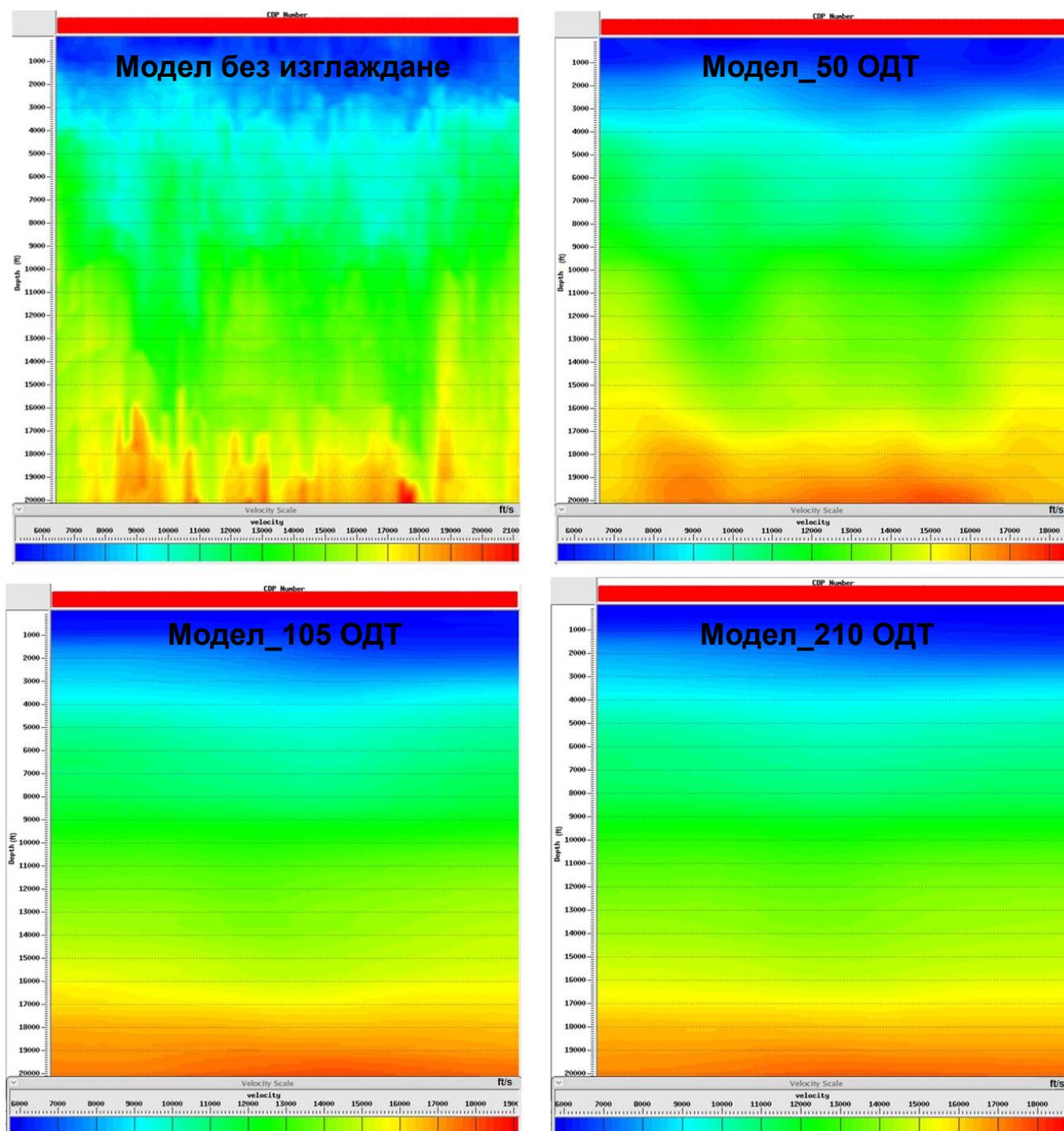
Разреза се отличава със силно наклонени отражателни повърхнини, последвани от полегат участък, в края, на който се наблюдава затъване на отражателните повърхности. По своя характер подобен тип отражения за особено подходящи за демонстриране работата на миграционните техники както във времевата, така и в дълбочинната област.

IV. 1. Влияние на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието ДКМПС

Настоящия експеримент има за цел да покаже ролята на добре избран оператора за изглаждане и последиците от некоректния избор на такъв оператор. За целта са извършени експерименти със следните характеристики, посочени в Таблица № 2.

Таблица № 2. Параметри на изходните данни за извършване на експериментите

<i>Име на модела</i>	<i>Дължина на оператора, ft</i>	<i>Дължина на оператора, ОДТ</i>
Модел без изглаждане	Без изглаждане	
Модел_50 ОДТ	5800	50
Модел_105 ОДТ	11600	105
Модел_210 ОДТ	23000	210



Фиг. 62, 63, 64 и 65. Оригинално поле на скоростите, Модел без изглаждане
Поле на скоростите, с изглаждане 50 ОДТ латерален оператор (5800ft), Модел_50 ОДТ
Поле на скоростите, с изглаждане 105 ОДТ латерален оператор (11550ft), Модел_105
ОДТ и Поле на скоростите, с изглаждане 210 ОДТ латерален оператор (23000ft),
Модел_210 ОДТ

IV. 1. 1. Създаване на база данни в специализирания за извършване на дълбочинна миграция софтуер

Първият етап от обработката на сеизмични данни в дълбочинната област включва съставянето на подходяща база данни за всеки конкретен профил. Базата данни

съдържа информация за азимута на профила, разстоянието между общите дълбочинни точки (ОДТ), офсетите по профила, първа и последна ОДТ.

IV. 1. 2. Апертурен тест (Impulse Test)

При извършване на ДКМПС апертурата може да варира в дълбочина.

За целите на настоящото изследване са избрани апертурните двойки описани в Таблица № 3.

Таблица № 3. Апертурни двойки

Дълбочина, ft	Разстояние, ft
0	0
3000	800
9000	5000
13000	10000

Създадената посредством различните двойки дълбочина – разстояние апертура се интерполира линейно по данните.

Избраната апертура за дълбочинна миграция е използвана без промяна във всички експерименти в дисертационния труд.

IV. 1. 3. Предварително лъчево трасиране

Трасирането на лъчите се характеризира с ключова роля в изследванията на проучвателната сеизмика. Лъчевата томография основава на пътя, който вълната изминава в подповърхностното пространство се занимава с времето необходимо на вълната да пропътува разстоянието от източника през земните пластове и оттам до приемника, разположен на земната повърхност.

Лъчевото трасиране е процедура в дълбочинната обработка, която силно се повлиява от избрания скоростен модел на средата, особено при наличие на силно изменящи се в латерална посока скорости на средата. Поради тази причина от особено значение е така получения скоростен модел да бъде предварително изгладен, да се характеризира без наличие на резки скоростни вариации както във вертикална, така и в хоризонтална посока.

Получения от процедурата лъчево трасиране файл съдържа информация за времената на пробег на лъчите и техните амплитудни коефициенти. Тези данни са необходими за извършването на ДКМПС.

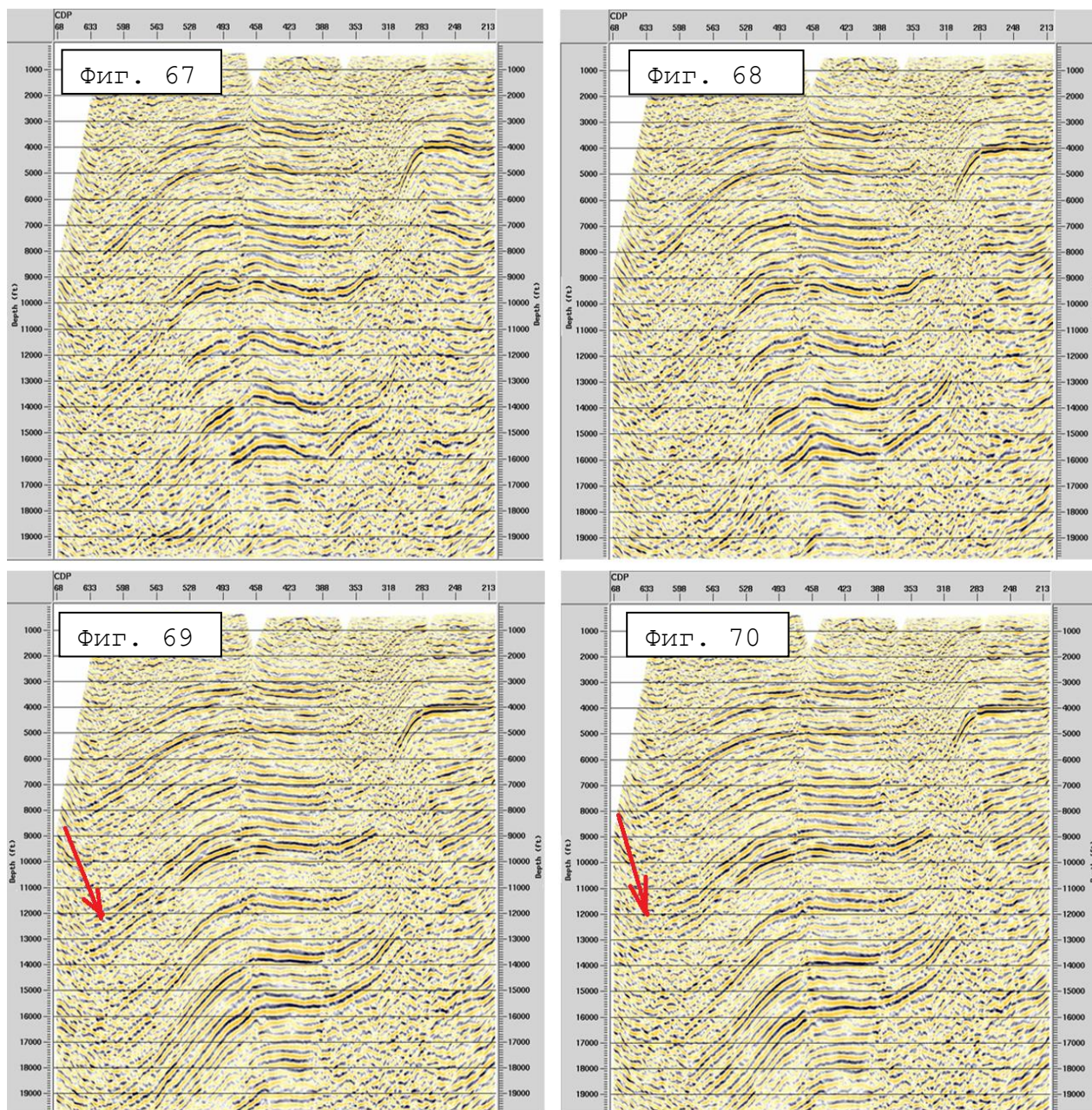
IV. 1. 4. Предварително (първоначално) миграционно преобразуване в дълбочинната област

Целта на предварителната дълбочинна миграция е свързана с необходимостта от създаването на ОДТ сеизмограми в дълбочинната област, които впоследствие да бъдат използвани от сеизмичната томография за подобряване на наличния скоростен модел средата и за следващата итерация на ДКМПС.

IV. 1.5. Анализ на получените резултати от предварителната ДКМПС

При сумирането на данните в дълбочинната област след предварителното миграционно преобразуване със скоростните модели с различни оператори за изглаждане се наблюдава недомигриране в крайните участъци от профила за всички модели, както и определена несигурност при проследяването на отражателните хоризонти.

Целта на последващите процедури е да подобрят сумирането за да стане възможно точното определяне на най-подходящия оператор за изглаждане на скоростния модел.



Фиг. 67, 68, 69 и 70. Сумиран разрез след предварителна ДКМПС с оригиналното поле на скоростите, Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ

IV. 1. 6. Подбор на хоризонти върху първоначалните дълбочинни модели получени съответно с Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ

Ключов момент в дълбочинната обработка се явява подбора на опорните хоризонти, използвани впоследствие от томографията за определяне на новия скоростен модел на средата. Параметрите за тестовото моделиране се подбират съобразно наличната за района геолого-геофизична информация. Опорните хоризонти са тези, които играят ролята на маркери и обикновено са обвързани с каротажната сондажна информация.

Хоризонтите се избират така, че по възможност да подчертават основните геоложки единици и да маркират резки смени на геоложката среда, свързани с промяна на геолого-скоростния модел на средата и по възможност обвързани с каротажната информация.

IV. 1. 7. Изчисляване на остатъчни кинематични поправки върху сеизмограми в дълбочинната област получени съответно с Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ

Изчисляването на остатъчните кинематични поправки става върху ОДТ сеизмограми с въведени кинематически поправки и мют. Самата остатъчна кинематика се явява функция на офсета и дълбочината, която описва каква поправка е необходимо да се въведе в скоростта, така че остатъчната кинематика да се нулира, т.е. ходографите да са изправени. В някои случаи се налага неколккратно коригиране на параметрите на изчислителния процес по корелираните хоризонти за да се постигне минимизиране на остатъчната кинематика, т.е. процесът е итеративен. Корелираните хоризонти, служат за автоматичното изчисляване на необходимите корекции в кинематиката, като обхвата им на действие е от единия хоризонт до другия. Целта на процедурата е изчислените кинематични поправки максимално да изправят в ОДТ областта корелираните хоризонти, което е критерии и качествен контрол за влиянието им върху скоростния модел. Преизчисляването на остатъчните кинематични поправки приключва при достигане на възможно най-малка остатъчна кинематика, която в идеалния случай би следвало да бъде нула. Процедурата е итеративна и се повтаря до оптимизиране на резултата, т.е. изправяне на ходографа.

Впоследствие сеизмичната томография използва информацията за необходимата поправка от хоризонтите и подобрява скоростния модел, така че след дълбочинна миграция сеизмограмите по ОДТ да съдържат изправени ходографи.

IV. 1. 8. Сеизмична томография за определяне на скоростния модел за ДКМПС съответно при Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ

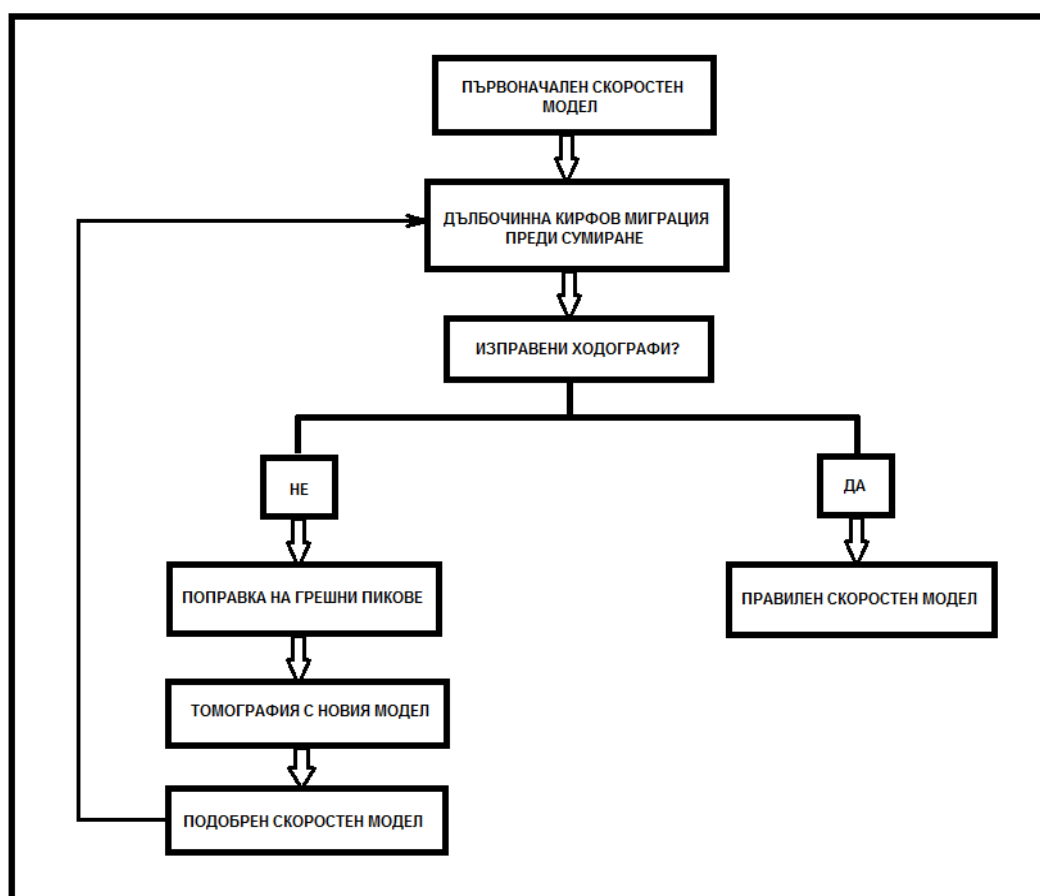
Този подход използва данни от остатъчната кинематика за определяне на грешката в скоростното поле. Процедурата използва и времената на пробег на лъчите, съхранени в сеизмограмите получени от дълбочинната миграция, за да възстанови пътя на лъчите от източника до приемника през средата за всяка точка от избраните хоризонти. По такъв начин остатъчната кинематика във всяка точка от хоризонтите се подлага на анализ, за да се определи необходимата промяна в скоростта на конкретната точка (Делта V), така че нейната остатъчна кинематика да е минимална.

IV. 1. 9. Трасиране на лъчите

Процедурата по проследяване пътя на лъчите за скоростния модел е важна стъпка в моделирането на средата, чиято цел е да установи пътя, който лъчите изминават от източника до приемника през геоложкия разрез и да изчисли времената на пробег на вълните. Посредством информацията, получена за скоростта на лъчите, процедурата определя пътя на вълните през средата и времената им на пробег, необходими впоследствие за извършването на ДКМПС.

IV. 1. 10. ДКМПС с използване на коригираните след сеизмичната томография скоростни полета за Модел без изглаждане, Модел_50 ОДТ, Модел_105 ОДТ и Модел_210 ОДТ

Дълбочинната миграция се осъществява главно въз основа на скоростно-дълбочинен модел на средата, който е представен от интервалните скорости в дълбочина. При условие, че скоростния модел на средата е определен точно, то тогава и дълбочинната миграция позиционира отразяващите повърхности с висока точност. Поради тази причина в сеизмичните дейности голямо внимание следва да се обръща на съставянето на скоростния модел на средата, първоначално във времева област и впоследствие неговото трансформиране и подобряване в дълбочинната област.



Фиг. 54. Алгоритъм на последователността при съставяне на скоростен модел за дълбочинно преобразуване на сеизмични данни

IV. 1. 11. Допълнителни процедури, приложени след ДКМПС с цел подобряване качеството на получените резултати

Много често след извършване на ДКМПС в дълбочинните сеизмограми остават некомпенсирани кинематични поправки. Причината за това е свързана с трансформацията на данните в процеса на миграционното преобразуване, в следствие на което при сортирането на дълбочинните сеизмограми се наблюдава известно отклонение от първоначално подбраните за извършване на миграцията кинематични поправки. В резултат на това е възможно при сумиране на дълбочинните сеизмограми да се открият зони с влошена проследяемост на отражателните повърхнини.

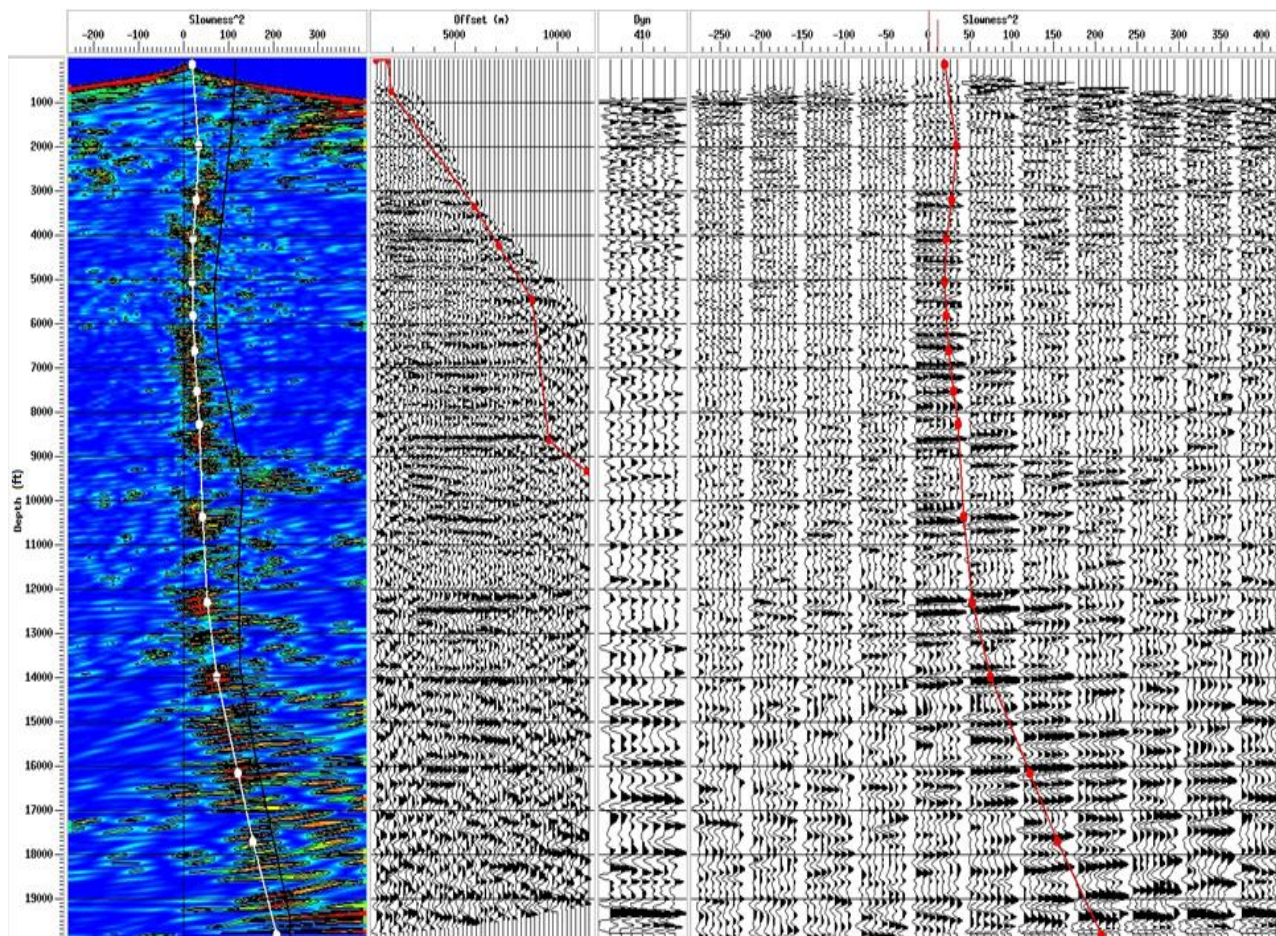
В отделни случаи е възможно дори при адекватен скоростен модел за миграционното преобразуване получен на базата на итеративното прилагане на сеизмична томография, да се наблюдават известни различия с геоложкия модел. Такъв ефект е възможно да се получи при наличие на сложни геоложки модели, характеризиращи се с появата на разломи или изклинвания на пластовете.

За компенсиране на възможни геоложки различия между реалния и съставения скоростен модел в настоящото изследване е приложена допълнителна кинематична поправка, получена посредством анализ на остатъчните кинематични поправки върху дълбочинни сеизмограми получени след финалната итерация на ДКМПС.

Този подход дава възможност интерактивно да бъдат анализирани дълбочинните сеизмограми, като по този начин ясно могат да се открият недоизправени ходографи, в случай че има такива.

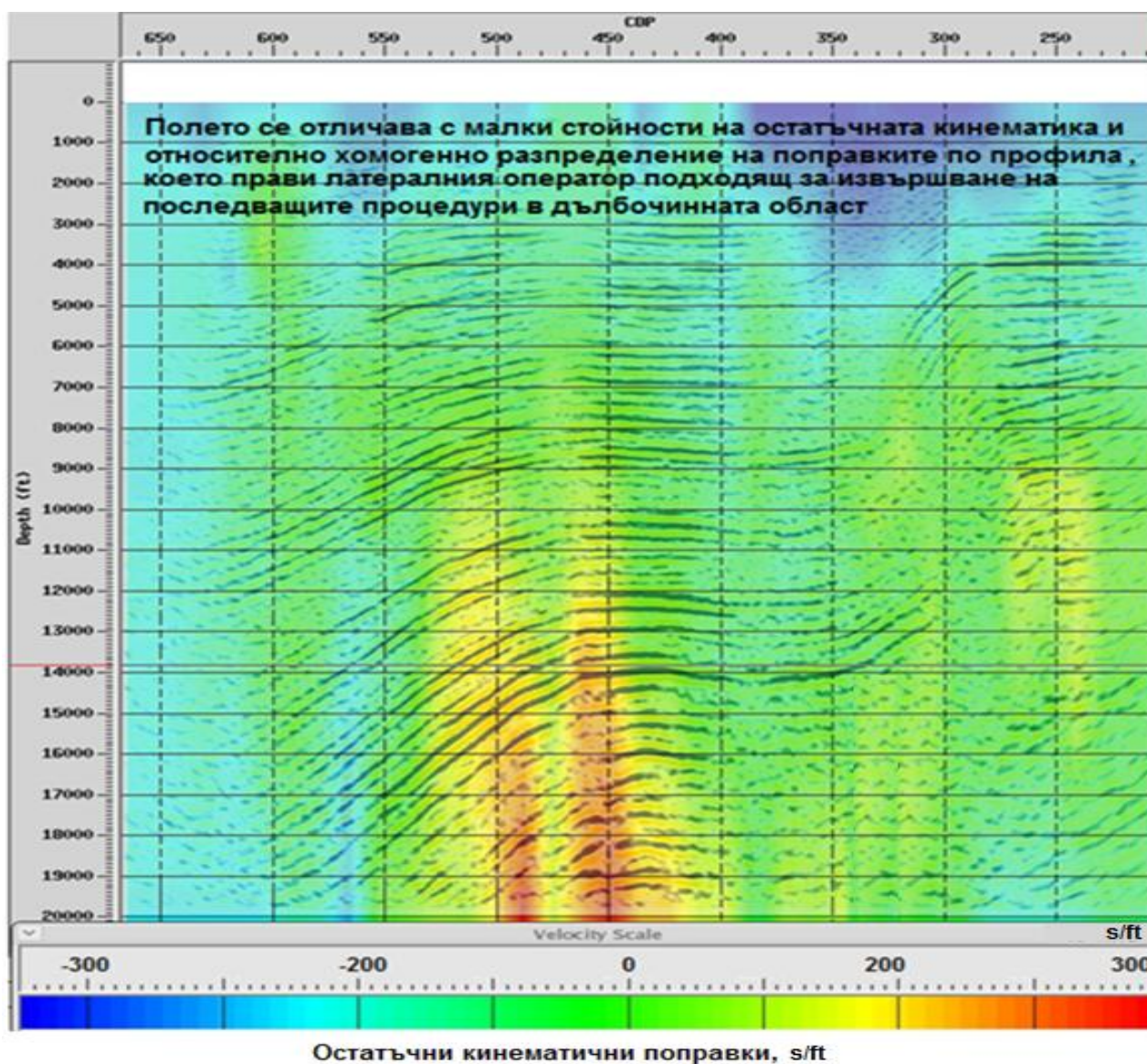
Методът на директния анализ на остатъчните скоростни върху вече мигрираните дълбочинни сеизмограми се отличава като бърз, не изискващ сериозни изчислителни ресурси, но и достатъчно надежден подход.

На Фиг. 103 е показан анализ на остатъчните скорости за Модел_105 ОДТ.



Фиг. 103. Анализ на разликата в остатъчните кинематични поправки преди (черната крива) и след (бялата крива) използването на сеизмична томография за определяне на скоростта на модела, Модел_105 ОДТ

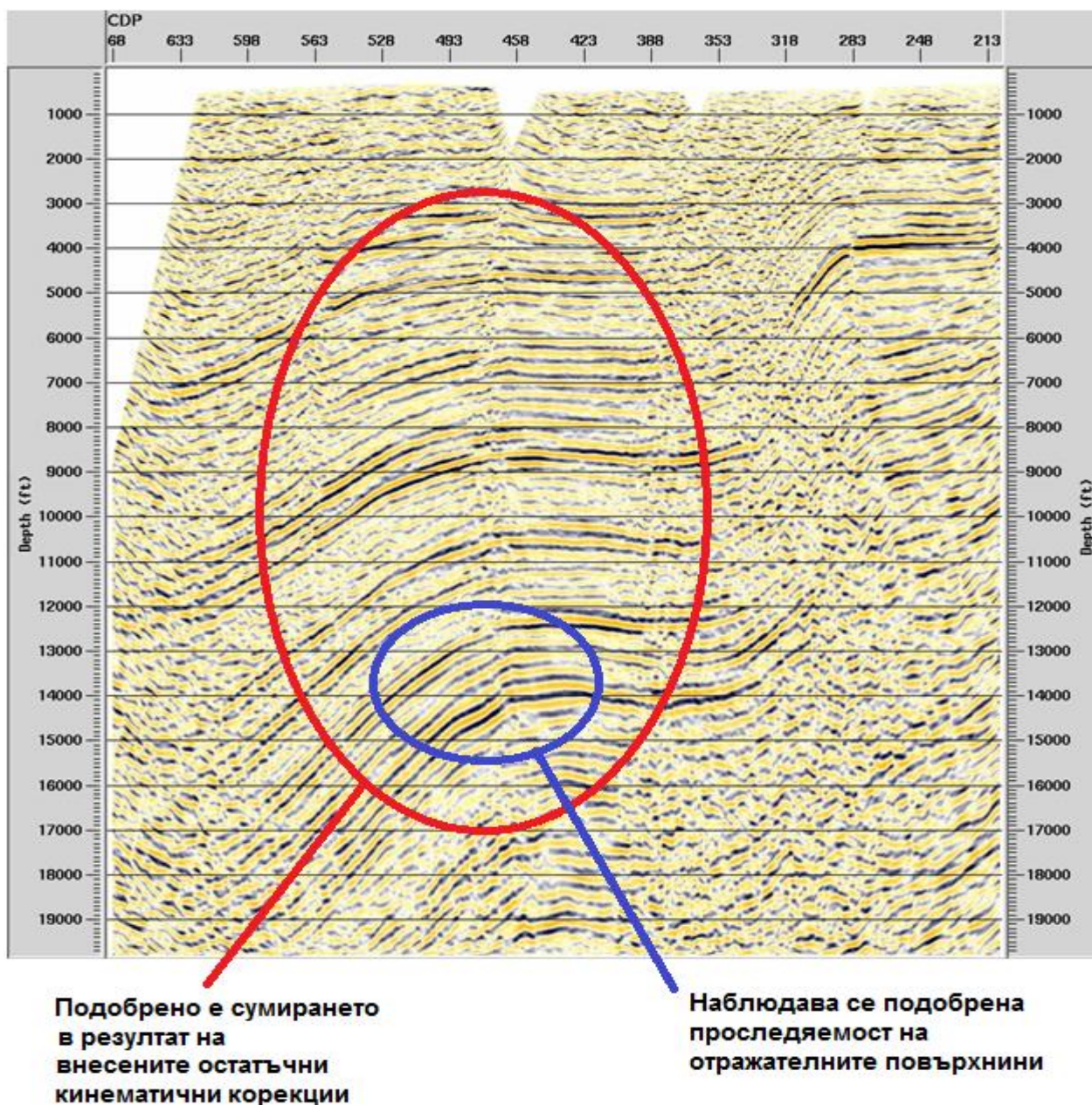
От направените карти на разпределението на остатъчните кинематични поправки върху сумираните след дълбочинна миграция данни, може да се проследят участъци, в които са били необходими по-големи поправки и такива участъци със слабо изразена необходимост от допълнителни поправки. Резултатите са показани на фигура 104.



Фиг. 104. Разпределение на остатъчните кинематични поправки върху сумиран разрез след ДКМПС, с използване на сеизмична томография за определяне на скоростния модел, Модел_105 ОДТ

IV. 1. 12. Оценка на качеството на получения резултат

От получените резултати латералния изглаждащ оператор на Модел_105_ОДТ с дължина на оператора 11600ft (105 ОДТ) се счита за най-подходящ за извършване на последващите експерименти, тъй като получения с него разрез отговаря в най-голяма степен на дефинираните в глава III. 2. "Критерии за оценка на качеството на получените резултати".



Фиг. 102. Сумирани данни след ДКМПС, с използване на сеизмична томография за определяне на скоростния модел в комбинация с остатъчни кинематични поправки, Модел_105 ОДТ

IV. 1. 13. Основни изводи за влиянието на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на ДКМПС

В резултат от проведените изследвания в Част IV. 1. „Влияние на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на ДКМПС“, могат да бъдат направени следните изводи относно избора на оператор за изглаждане:

- ❖ При изглаждане на полето загубата на възможна полезна информация е минимална;
- ❖ При оптимално изглаждане в полето на скоростите липсват големи резки латерални изменения в скоростните функции;

- ❖ Полученото поле на скоростите след прилагане на оптимален оператор за изглаждане на функциите отразява в най-голяма степен реалното разпределение на скоростите;

С избора на оператор за изглаждане на скоростните функции се дава решение на една от поставените задачи в "Цел и задачи на дисертационния труд": **Избор на подходящ оператор за изглаждане полето на скоростите.**

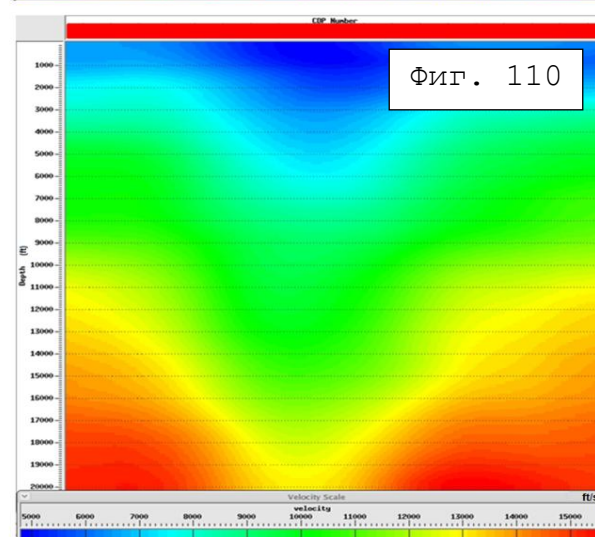
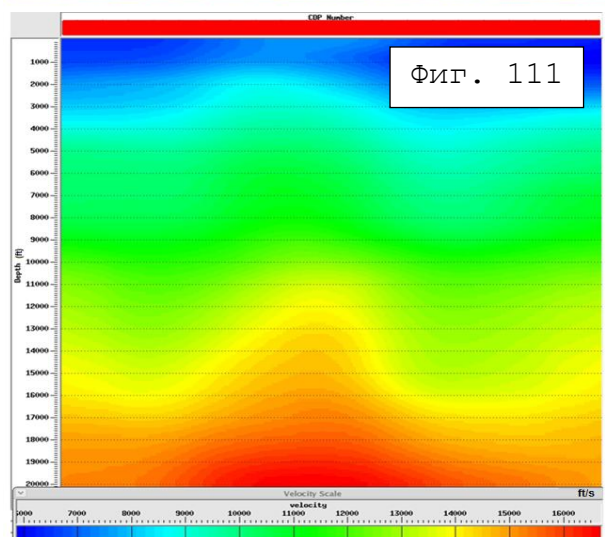
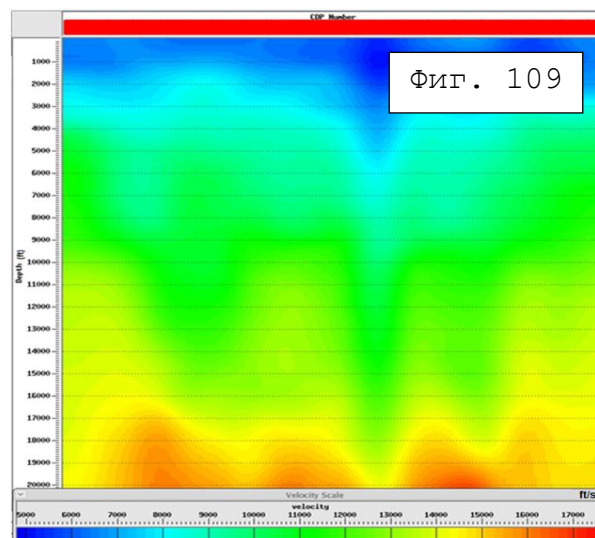
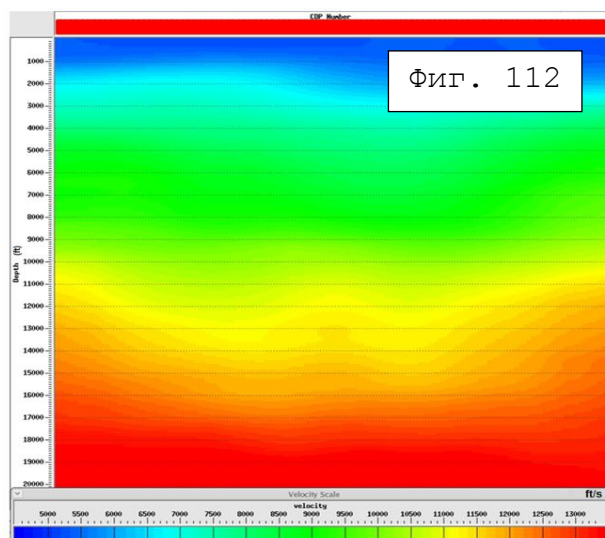
IV. 2. Построяване на скоростен модел на средатата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите и анализиране влиянието на грешките при съставянето на модела

IV. 2. 1. Анализ на влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за ДКМПС

Целта на настоящия експеримент е да демонстрира как определени неточности в полето на скоростите въздействат на ДКМПС и по какъв начин сеизмичната томография в комбинация с анализ на остатъчните кинематични поправки се повлияват от тях. За целите на изследването изкуствено са създадени аномални участъци в скоростните модели, посредством редукция или завишаване на скоростите в определени области по протежението на профила, като в останалата част от разреза скоростното поле е непроменено, с цел намиране на технологично решение за откриване на аномалиите.

Създадени са следните три скоростни модела съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето:

- ❖ Модел с резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните;
- ❖ Модел с редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ;
- ❖ Модел с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ.



Фиг. 112, 109, 110, 111. Оригиналното поле на скоростите без наличие на модификации (фиг. 109), полетата на скоростите на Модела с резки изменения на скоростните функции на близки разстояния (фиг. 109), породени от ниска кратност на данните, Модела с редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ (фиг. 110) и Модела с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ (фиг. 111).

IV. 2.1.1. Предварително лъчево трасиране

С получените резултати е извършена предварителна ДКМПС.

IV. 2.1.2. Предварително (първоначално) миграционно преобразуване в дълбочинната област

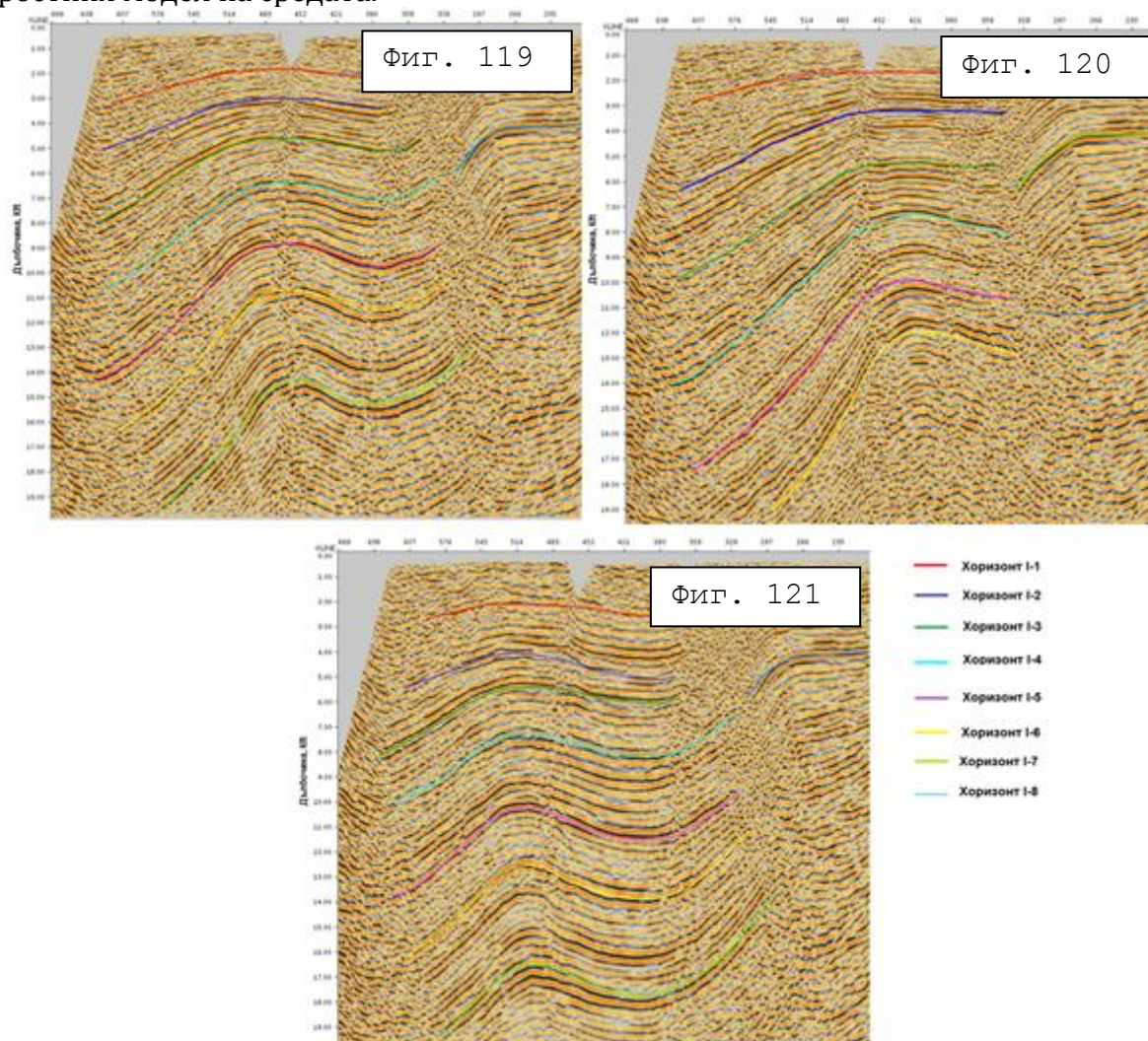
Предварителната ДКМПС за целите на настоящия експеримент е осъществена посредством обработените във времевата област сеизмограми и скоростните модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето.

IV. 2.1.3. Анализ на получените резултати от предварителната ДКМПС

Поради наличието на аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето, изчислените времена на пробег от процедурата в част IV. 2. 1. 1. „Предварително лъчево трасиране“, са много неточни, което затруднява коректната работа на ДКМПС. С цел подобряване на сумирането още на този етап е извършен анализ на остатъчните скорости, с цел внасянето на допълнителни кинематични корекции.

IV. 2.1.4. Подбор на хоризонти върху първоначалните дълбочинни модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето

Хоризонтите са избирани така, че да подчертават основните геоложки единици и да маркират резки смени на строежа на геоложката среда, свързани с промяна на геолого-скоростния модел на средата.



Фиг. 119, 120 и 121. Сумирани разреза, след прилагане на ДКМПС, с подобрени хоризонти за изчисление на новия скоростен модел чрез сеизмична томография последователно за:

Модел получен вследствие на резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните, Модел получен вследствие на редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ и Модел получен вследствие на увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ

IV. 2. 1. 5. Изчисляване на остатъчни кинематични поправки върху сеизмограми в дълбочинната област, получени от дълбочинните модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето

Проверката на изчислените поправки се извършва върху сеизмограми в дълбочинната област, като всеки от избраните хоризонти върху сумирания разрез, съответства на изчисления хоризонт, изобразен върху сеизмограмите.

IV. 2. 1. 6. Сеизмична томография за определяне на скоростния модел за ДКМПС за моделите съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето

Въз основа на избраните хоризонти и на изчислените поправки с помощта на сеизмичната томография е съставен новия скоростен модел, който да съдържа необходимите кинематични корекции за изправянето на ходографите.

IV. 2. 1. 7. Трасиране на лъчите

Трасирането на лъчите за определяне на времената на пробег на лъчите, необходими за извършване на ДКМПС, се основава на скоростния модел, получен от сеизмичната томография. При условие, че полето на скоростите изглежда адекватно, това означава, че и времената на пробег на лъчите са коректно определени.

IV. 2. 1. 8. ДКМПС с използване на подобрените след сеизмичната томография скоростни полета

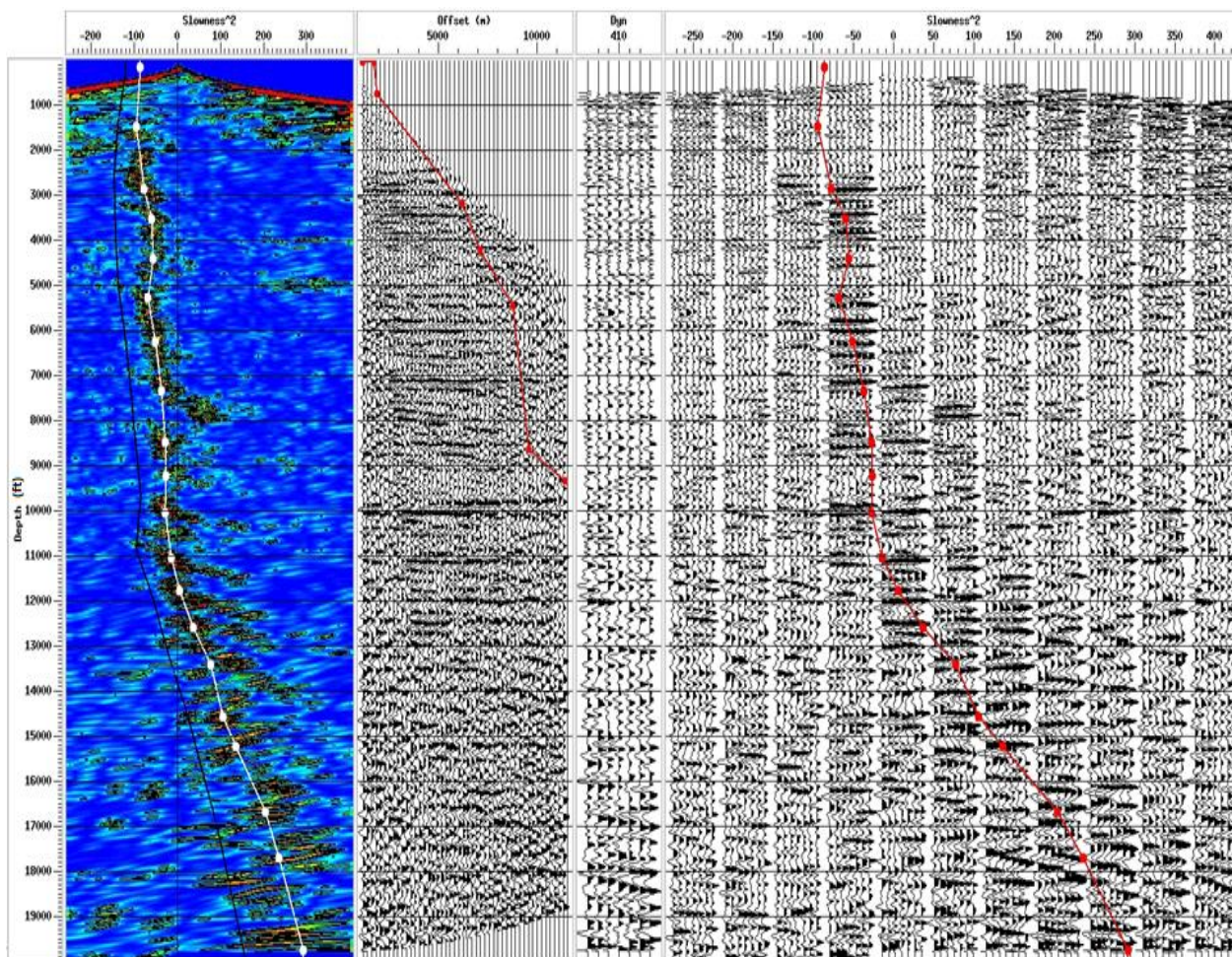
С времената на пробег определени от процедурата Трасиране на лъчите за всеки от моделите представляващи обект на настоящия експеримент, а именно: Модел с резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните, Модел с намалени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ и Модел с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ е извършена ДКМПС.

IV. 2. 1. 9. Допълнителни процедури, приложени след ДКМПС с цел подобряване качеството на получените резултати

При анализа на остатъчните скорости за Модела с резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните, се откроява относителното изместване на необходимата поправка, за изправянето на ходографите, към нулата след прилагането на сеизмичната томография, което означава, че след съставянето на новия скоростен модел от сеизмичната томография, необходимостта от допълнителна поправка за изправянето на ходографите е по-малка. На практика това ни показва, че резките изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните, реално могат да бъдат компенсирани в голяма степен от сеизмичната томография, така че да не бъдат създавани изкуствени структурни форми.

От анализа на остатъчните скорости на Модела с намалени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ се наблюдава леко изместване на необходимата поправка в горната част на сеизмограмите към нулата, след прилагането на сеизмичната томография, но в случая то е крайно недостатъчно, въпреки големите остатъчни кинематични

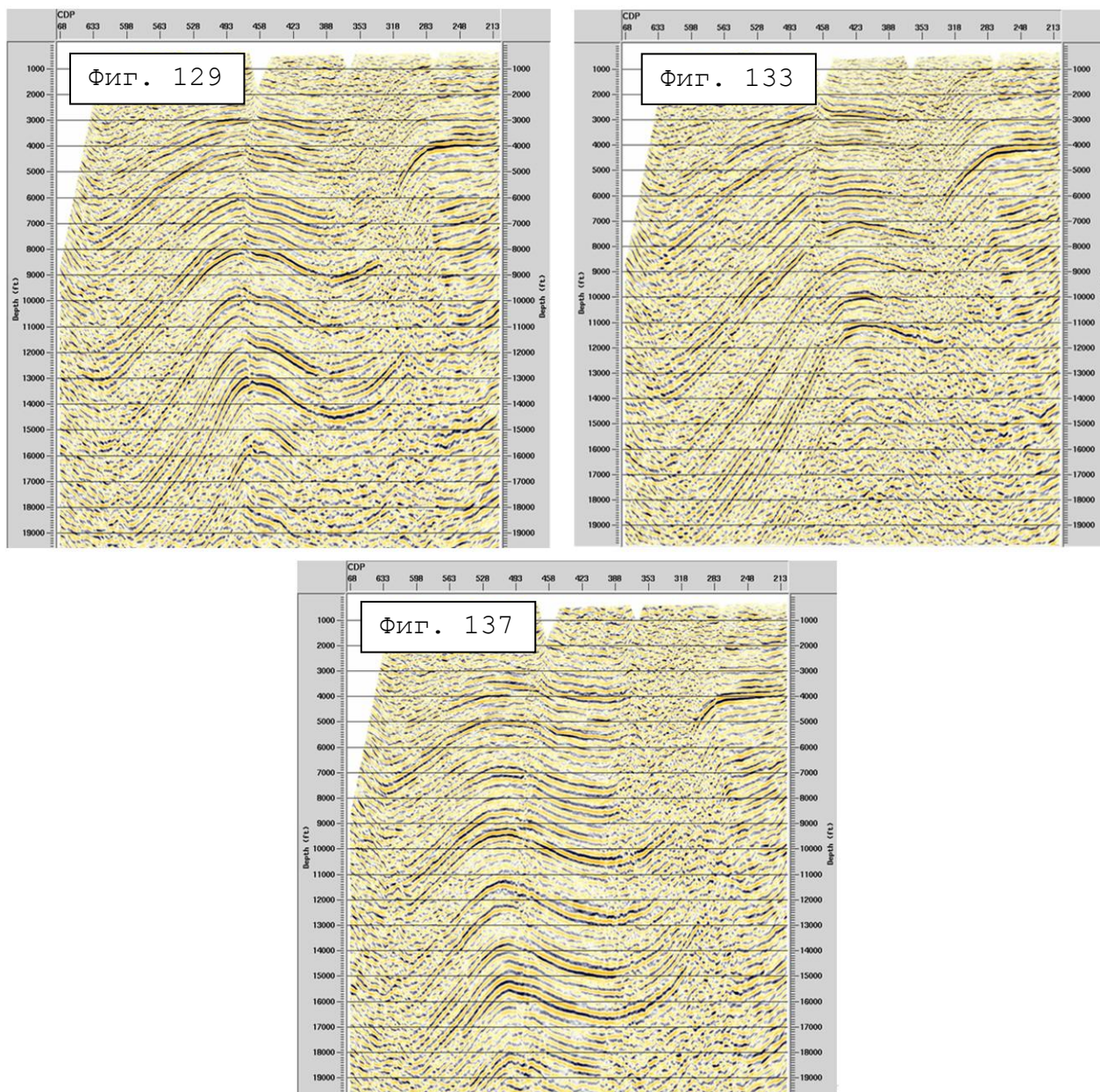
поправки, които са приложени. В дълбоките части новия скоростен модел се характеризира с по-ниски скорости, което води до изправяне на ходографите с по-големи стойности на остатъчната кинематика.



Фиг. 134. Анализ на разликата в остатъчните кинематични поправки преди (черната крива) и след (бялата крива) използването на сеизмична томография за определяне на скоростта на модела, Модел получен вследствие на редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ

При анализа на остатъчните скорости на Модела с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ се наблюдава известно отместване на новия скоростен модел към нулата, но за цялостното нулиране на остатъчната кинематика в този случай би била необходима огромна остатъчна кинематична поправка и вероятно голям брой итерации на сеизмична томография.

Независимо от така създадените по време на експеримента несъвършенства в отделни части на моделите, от направеното сравнение между сумираните данни без наличие на остатъчни (допълнителни) кинематични поправки и след прилагането им ясно се забелязва сериозното подобрение в качеството на получения резултат след прилагане на остатъчните кинематични поправки в областите от разрезите, където поправката е била близка до нулата. В останалите части от дълбочинните изображения резултатите са неубедителни, което поставя под въпрос достоверността на изходните скоростни модели.



Фиг. 129, 133, 137. Сумирани данни след ДКМПС, с използване на сеизмична томография за определяне на скоростния модел и остатъчни кинематични поправки последователно за Модела получен вследствие на резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните, Модел, получен вследствие на редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ и Модел получен вследствие на увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ

IV. 2. 1. 10. Качествен контрол на получените резултати

За целите на количествена оценка на качеството са използвани картите DeltaV и “Сноп лъчи” (Ray Hits).

Първият файл показва разликата в скоростния модел след подбора на хоризонтите, с помощта на които сеизмичната томография определя новият скоростен модел. В конкретния случай диапазонът на допустимата промяна в скоростния модел е 10%, следователно разликата между стария и новия скоростен модел варира в порядъка между 90% и 110%. По такъв начин илюстрираните изображения показват къде

скоростите са с по-високи стойности (сините участъци) и следователно те трябва да бъдат намалени в новия модел и къде с по-ниски такива (червените участъци) и имат нужда от увеличаване спрямо стария модел.

“Сноп лъчи” (Ray Hits), от своя страна показва броя на лъчите, които пресичат всяка клетка от мрежата, на която е поделен изследвания профил. Количествената проверка в този случай се касае до оценка на броя на лъчите и степенната на покритие на мрежата. Всяка клетка съдържаща по-малко от 300 пресичащи я лъча не се използва в изчисленията за новия скоростен модел. За изчислениите са използвани само такива клетки съдържащи по 300 лъча. Клетките с лъчи надвишаващи този брой ще бъдат премахнати. Целта е да бъде постигнат баланс на покритието на мрежата и да се намалят краевите ефекти получавани от недостатъчен брой лъчи преминали през клетките.

IV. 2. 1. 11. Оценка на качеството на получения резултат

Според дефинираните в глава III. 2. "Критерии за оценка на качеството на получените резултати", дълбочинните миграции на Модела с резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните, Модела с намалени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ и Модела с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ се отличава със следните особености:

- ❖ По отношение на първия критерии, отнасящ се до разрешаващата способност, получените крайни разрези със съответните скоростни модели се характеризират с по-висока разделителна способност - вертикална и хоризонтална спрямо първата итерация на съответните дълбочинни миграции;
- ❖ Честотния състав на получените резултати е с добро качество, което се дължи на качеството на обработените във времевата област данни, явяващи се вход за дълбочинна миграция;
- ❖ Продължителността на отразяващите повърхнини по протежението на разрезите е различно за всеки един от тях:

По отношение на Модела с резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните продължителността е прекъсната на участъци, в резултат на неподходящия скоростен модел.

Модела с намалени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ се отличава със значително по-малко накъсване на отразителните повърхнини, но тяхната проследяемост е силно затруднена в участъка, където скоростите са били изкуствено редуцирани.

Модела с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ се характеризира със значително по-слаба проследяемост на отразителните граници в краевите участъци на профила.

- ❖ За трите модела е характерно наличието на нарушения, скъсвания и остатъчни ходографи на дифракции, свързани с определени неточности в процеса на подбор на скоростното поле на данните.
- ❖ Разрезите се отличават с нелогично разпределение на отразителните повърхнини и особено с наличие на неестествени структурни форми, получени в резултат на изкуствено трансформираните скоростни полета на данните, описващи недействителни скоростни аномалии;
- ❖ Структурната достоверност на получените разрези трябва да бъде проверена посредством обвързването им със сондажно-геофизични данни, тъй като по

строеж и разпределение на отражателните повърхнини силно се различават от времевия разрез.

IV. 2.1.12. Основни изводи за влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за ДКМПС

В резултат от проведените изследвания в Част IV. 2. 1. „Анализ на влиянието на грешките при съставянето на скоростния модел за ДКМПС“, могат да бъдат направени следните изводи:

- ❖ При наличие на участъци в данните с влошено качество на сигнала, в следствие от ниска кратност на данните, възможността за допускане на грешка при определяне на скоростния модел за дълбочинна миграция е съществена;
- ❖ Сеизмичната томография е силен инструмент за подобряване качеството и коректността на скоростния модел за ДКМПС, като се справя с влошеното качество на сигнала, в следствие от ниска кратност на данните;
- ❖ При наличие на силно изкривяване на полето на времето, предизвикано от допусната грешка при анализа на скоростното поле, измененията, които настъпват в данните могат да доведат до структурни изменения от геоложки характер;
- ❖ Анализ на остатъчните скорости е ключов инструмент за въздействие върху дълбочинните сеизмограми, с цел подобряване качеството на сумиране.
- ❖ Анализ на остатъчната кинематика дава възможност за контрол на качеството на получените дълбочинни сеизмограми;
- ❖ Достоверността на дълбочинни сеизмични разрези може да бъде гарантирана единствено посредством обвързването на получените резултати със сондажно-геофизични данни, което е и елемент от качествения контрол на предлаганата технология;

Анализа и оценката на грешките при съставянето на скоростния модел за ДКМПС дават отговор на следните поставени в "Цел и задачи на дисертационния труд" задачи:

- ❖ **Изследване на полето на скоростите за наличие на аномални участъци и уточняване на причините за появата им;**
- ❖ **Изучаване на ефекта от наличието на аномални участъци в полето на скоростите и начина, по който тези аномалии се отразяват върху ДКМПС.**

IV. 2. 2. Построяване на скоростен модел на средата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите

При извършването на ДКМПС избора на коректен скоростен модел има решаващо значение за качеството на получените резултати. В отделни случаи дори малки вариации в модела водят до качествено различни резултати.

Целта на експеримента е да се оцени влиянието на константно редуцираните скоростни полета (в проценти), получени от оригиналния скоростен модел, върху действието на ДКМПС и върху получените разрези в дълбочинната област.

Съобразно целите на проучването са извършени няколко експеримента, като първоначално оригиналния скоростен модел във времевата област е редуциран последователно с 30%, 20% и 10%, а след това така получените полета на скоростите са преобразувани в дълбочина. Извършен е също така и експеримент с оригиналния скоростен модел на средата (без да бъде редуциран), т.е 100%. За целите на изследването е създаден и експериментален модел със завишени с 10% скорости на средата. Моделите са създадени с помощта на интерактивен софтуер (ProMAX® Seismic Data Processing Software).

IV. 2.2.1. Предварително лъчево трасиране

Процедурата е приложена върху: Модел_70%, Модел_80%, Модел_90%, Модел_100% и Модел_110%. С получените резултати е извършена ДКМПС.

IV.2.2.2. Предварително (първоначално) миграционно преобразуване в дълбочинната област

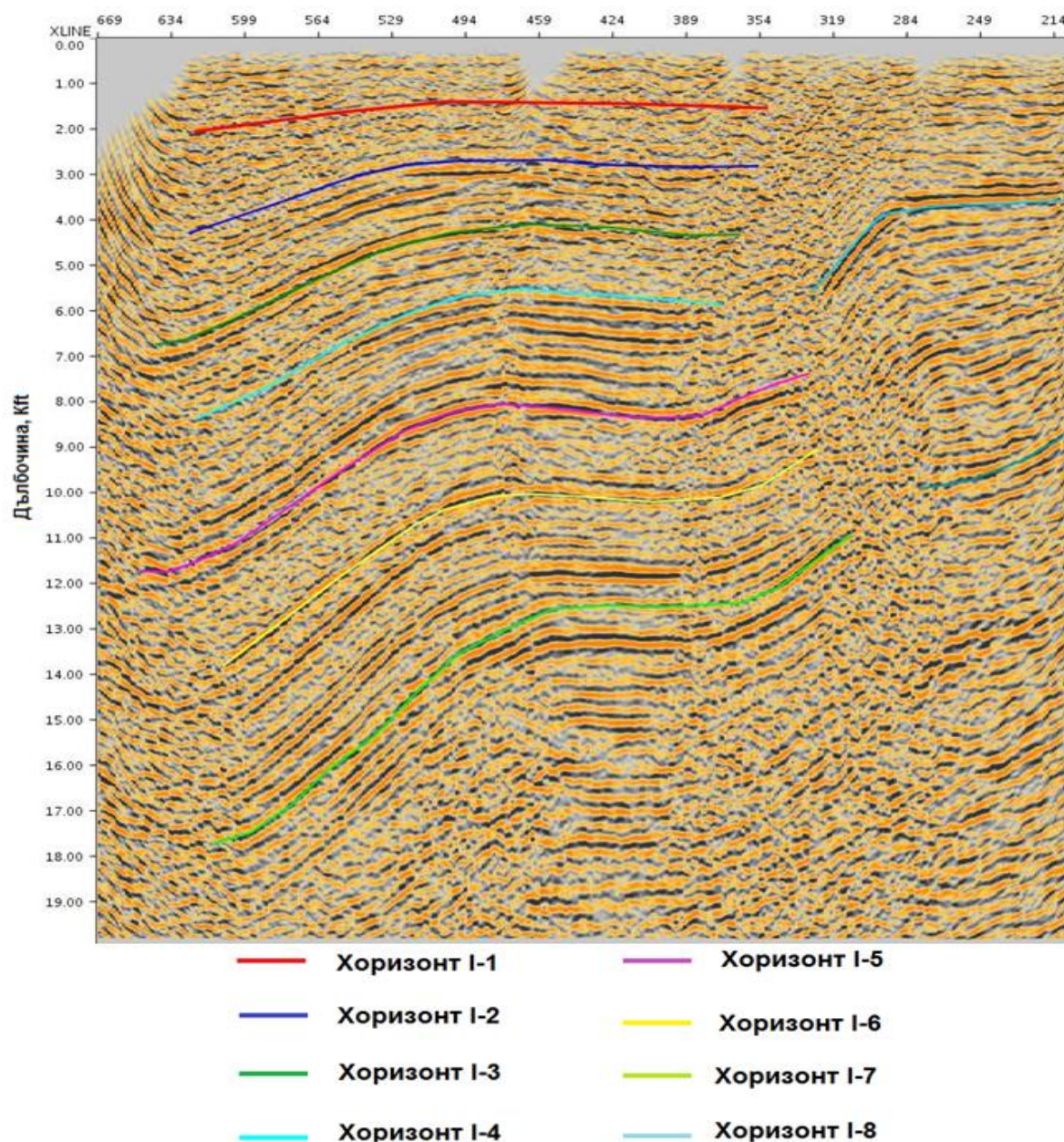
Предварителната Дълбочинна миграция за целите на настоящия експеримент е осъществена посредством обработените във времевата област сеизмограми и с константно редуцирани скоростните модели съответно с 30%, 20%, 10%, оригинален скоростен модел (100%) и завишен с 10% скоростен модел.

IV. 2.2.3. Анализ на получените резултати от предварителната ДКМПС

Анализа на получените резултати е извършен въз основа на сумираните разрези след ДКМПС в комбинация с дълбочинните сеизмограми за всеки от моделите: Модел_70%, Модел_80%, Модел_90%, Модел_100% и Модел_110%. От получените резултати единствено Модел_90% се доближава до дефинираните критерии за качество в глава III. 2. "Критерии за оценка на качеството на получените резултати". Въз основа на това може да се твърди, че Модел_90% е най-подходящ за извършване на по-нататъшните процедури по детайлното определяне на скоростния модел посредством сеизмична томография.

IV. 2. 2. 4. Подбор на хоризонти върху първоначалните дълбочинни модели съдържащи аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето за Модел_90%

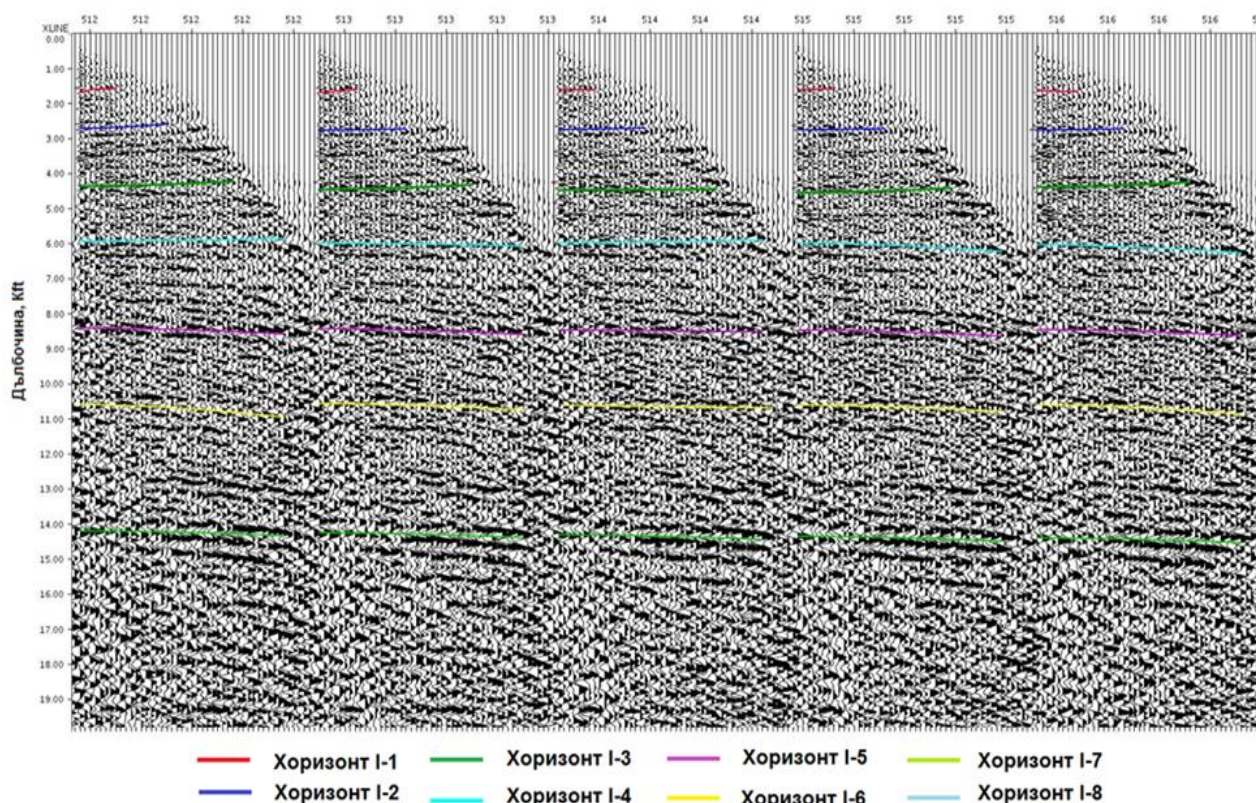
Хоризонтите са избирани така, че да подчертават основните геоложки единици и да маркират резки смени на строежа на геоложката среда, свързани с промяна на геолого-скоростния модел на средата.



Фиг. 166. Сумиран разрез, след прилагане на Предварителна ДКМПС, с избрани хоризонти за изчисление на новия скоростен модел чрез сеизмична томография, Модел_90%

IV. 2. 2. 5. Изчисляване на остатъчните кинематични поправки върху сеизмограми в дълбочинната област, получени от Модел_90%

Проверката на изчислените поправки се извършва върху сеизмограми в дълбочинната област, като всеки от подбраните хоризонти, върху сумирания разрез, съответства на изчисления хоризонт, изобразен върху сеизмограмите.



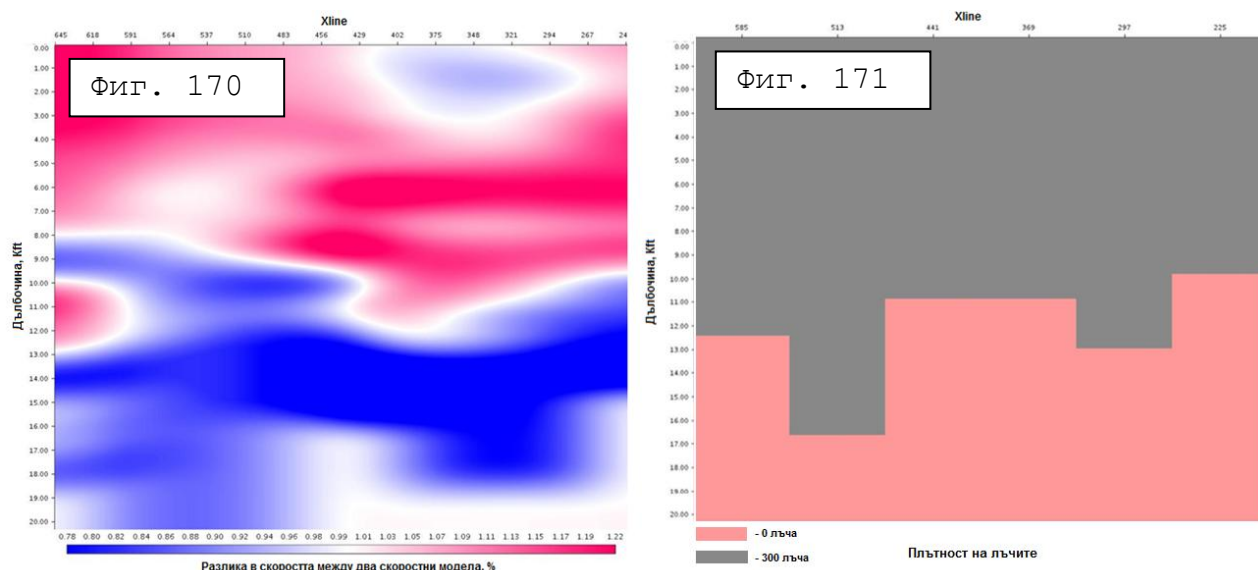
Фиг. 167. Сеизмограми в дълбочинната област получени след предварителна ДКМПС с изобразени хоризонти, следващи поведението на ходографите, Модел_90%

IV. 2. 2. 6. Сеизмична томография за определяне на скоростния модел за ДКМПС за Модел_90%

Въз основа на подбраните хоризонти и на изчислените поправки сеизмичната томография съставя новия скоростен модел, който съдържа необходимите кинематични корекции за компенсацията на закъснението при регистрирането на сеизмичните данни с отдалечаване от източника.

IV. 2. 2. 7. Качествен контрол на получените резултати

За целите на качествена оценка са използвани картите DeltaV и “Сноп лъчи” (Ray Hits).



Фиг. 170 и 171. Карта на разпределението – ДелтаV и Карта на плътността на лъчите “Сноп лъчи”, Модел_90%

IV. 2. 2. 8. Трасиране на лъчите

Трасирането на лъчите за определяне на времената на пробег на лъчите, необходими за извършване на ДКМПС, се основава на скоростния модел, получен от сеизмичната томография.

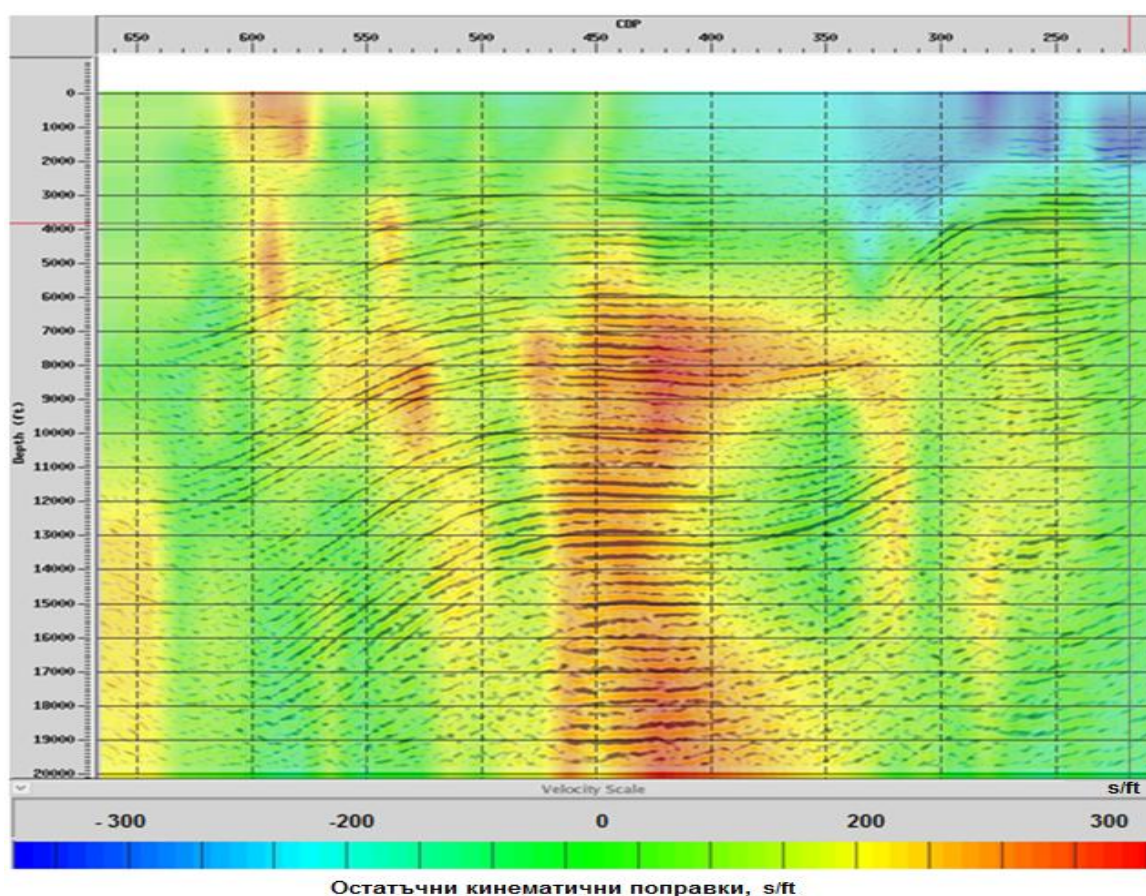
IV. 2. 2. 9. ДКМПС с използване на подобреното след сеизмичната томография скоростно поле

С времената на пробег определени от процедурата Трасиране на лъчите за Модел_90% представляващ обект на настоящия експеримент е извършена ДКМПС с използване на скоростния модел определен от сеизмичната томография.

Интерактивната част от технологията се прекратява в момента, в който този подход спира да дава по-добър резултат или такъв, който много се доближава до предходния и е инженерно решение. Поради тази причина в конкретния случай от приложените многобройни итерации е избран резултата след първите две итерации на миграционната техника, една от които предварителна ДКМПС с първоначалния, трансформиран в дълбочина скоростен модел на средата.

IV. 2. 2. 10. Допълнителни процедури, приложени след ДКМПС с цел подобряване качеството на получените резултати

С цел подобряване качеството на получения резултат е извършен анализ на остатъчните кинематични поправки. Съставена е карта на разпределението на остатъчните кинематични корекции по профила.

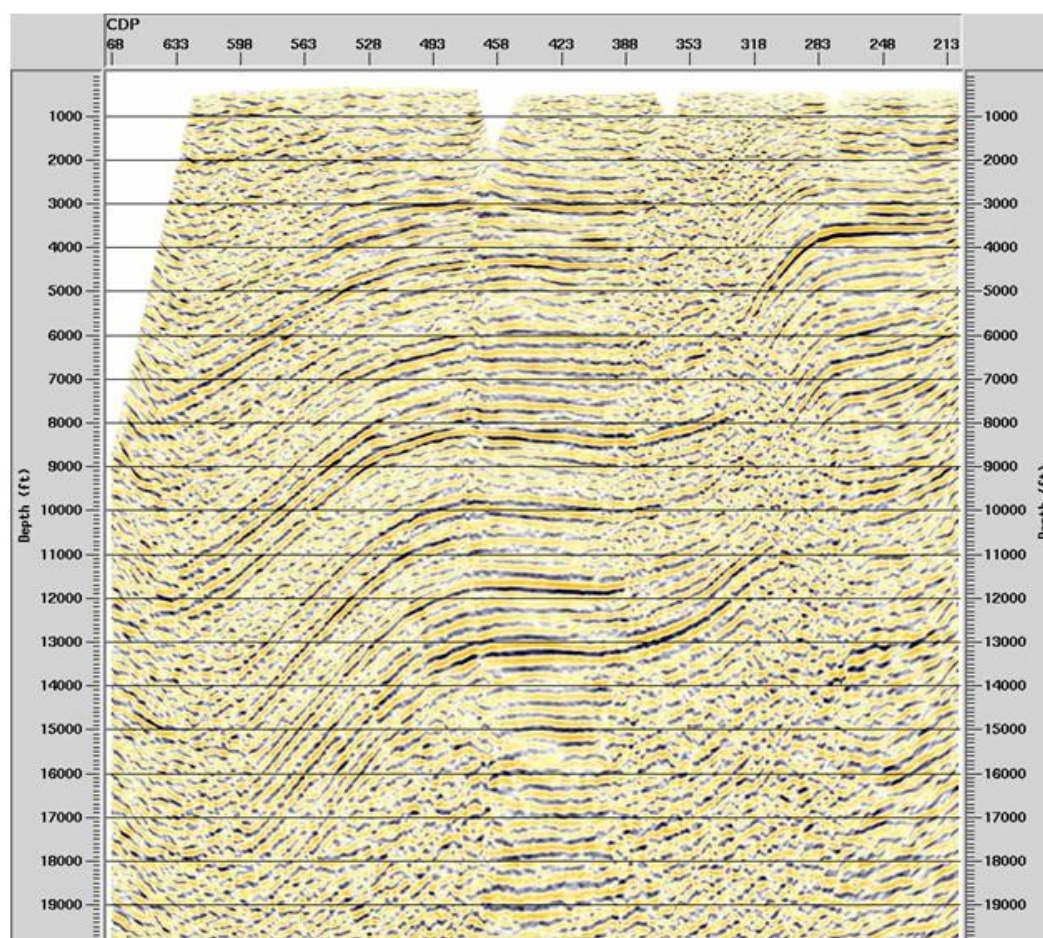


Фиг. 179. Разпределение на остатъчните кинематични поправки върху сумиран разрез след ДКМПС, с използване на сеизмична томография за определяне на скоростния модел, Модел_90%

IV. 2. 2. 11. Оценка на качеството на получения резултат

Според дефинираните в глава III. 2. "Критерии за оценка на качеството на получените резултати", дълбочинната миграция на Модел_90% се отличава със следните особености:

- ❖ По отношение на първия критерий, изображението се характеризира с повишена разделителна способност - вертикална и хоризонтална спрямо първата итерация на дълбочинната миграция;
- ❖ Честотния състав на получения резултат се отличава с богат спектър, което обуславя повишената разрешаваща способност;
- ❖ Във връзка с продължителността на отразяващите повърхнини по протежението на профила се забелязва, че зоните с предпоставки за влошено качество на сумиране, са преодоляни от извършеното дълбочинно миграционно преобразуване;
- ❖ Отсъствие на нарушения, скъсвания и остатъчни ходографи на дифракции, свързани с определени неточности в процеса на обработката на данните;
- ❖ Разреза се отличава с логично разпределение на отражателните повърхнини, без наличие на неестествени структурни форми или геоложки феномени, получени в резултат на недействителни скоростни аномалии;
- ❖ Получения краен разрез може да се използва за целите на структурната интерпретация, тъй като се характеризира като надежден и високо разрешаващ.



Фиг. 181. Сумирани данни след ДКМПС с използването на сеизмична томография и приложени остатъчни кинематични поправки, Модел_90%

IV. 2. 2. 12. Основни изводи при построяване на скоростен модел на средата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите

В резултат от проведените изследвания в Част IV. 2. 2. „Построяване на скоростен модел на средата за ДКМПС чрез константно редуциране на скоростите“, могат да бъдат направени следните изводи:

- ❖ При наличие на колебания в полето на скоростите, редуцирането на полето или неговото изкуствено завишаване, дават възможност за формулиране границите на изменение на полето;
- ❖ При наличие на коректен скоростен модел константното редуциране или завишаване на скоростното поле води до влошаване на резултата, което доказва прецизността на оригиналния скоростен модел;
- ❖ Редукцията на скоростното поле с 10% е съизмерима с грешката при определянето на кинематичните поправки във времевата област;
- ❖ Достоверността на редуцираното с 10% поле на скоростите е доказана с анализа на остатъчната кинематика, при който стойността на необходимата поправка е близка до нула.

С изведените изводи за ефекта от редуциране или завишаване на полето на скоростите във връзка с търсенето на подходящ скоростен модел за дълбочинна миграция преди сумиране се дава решение на петата задача поставена "Цел и задачи на дисертационния труд".

Последвалия анализ на влиянието на остатъчните скорости, приложени след ДКМПС се явява в следствие на шестия поставен въпрос в "Цел и задачи на дисертационния труд" - **Изследване влиянието на остатъчните скорости, приложени след ДКМПС.**

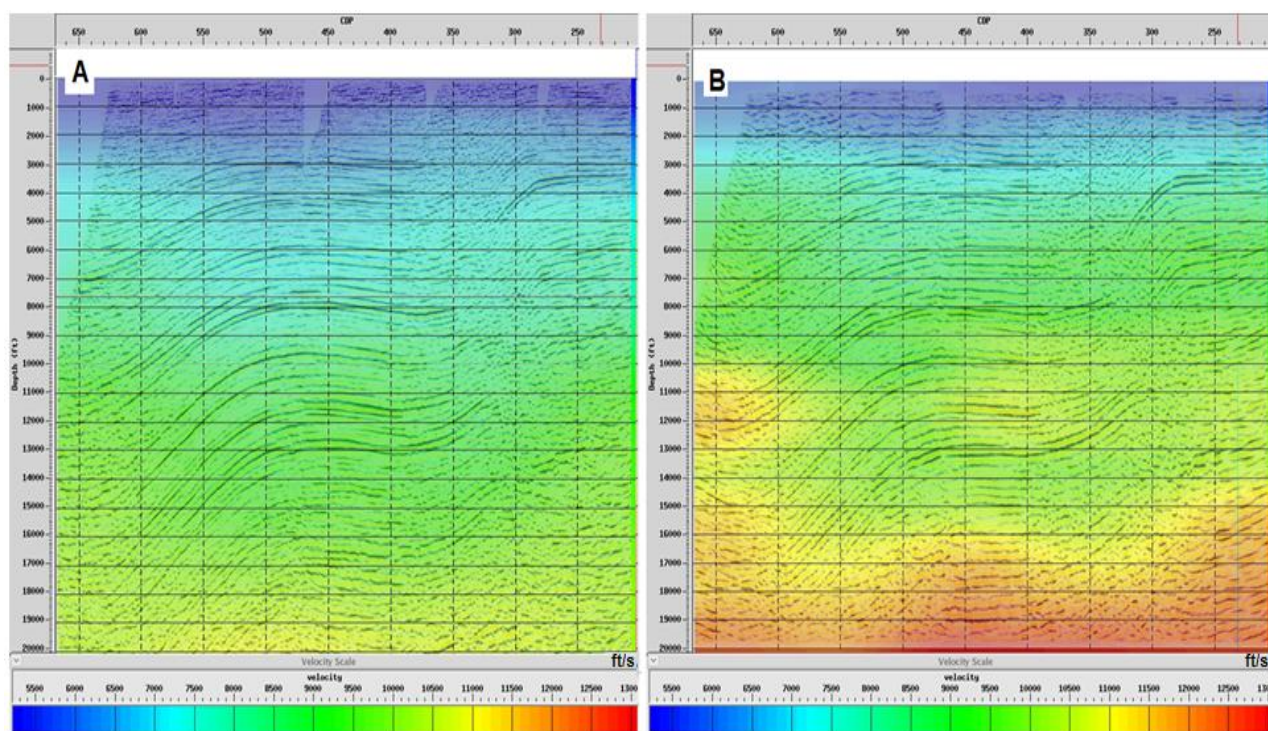
Съставената конкретна методика за извършване на ДКМПС с използването на остатъчни кинематични поправки след сеизмичната томография е демонстрирана последователно във всеки от практическите раздели на Дисертацията. **Създаването на показаната технология за извършване на ДКМПС с използването на остатъчни кинематични поправки след сеизмичната томография се явява първата поставена задача "Цел и задачи на дисертационния труд".**

IV. 3. Сравнителен анализ на резултатите от трансформиран в дълбочинната област разрез и разрез получен посредством ДКМПС

Според дефинираните в точка III. 2 на дисертационната работа „Критерии за оценка на качеството на резултатите“, от сравнителния анализ на двете изображения могат да се направят следните изводи:

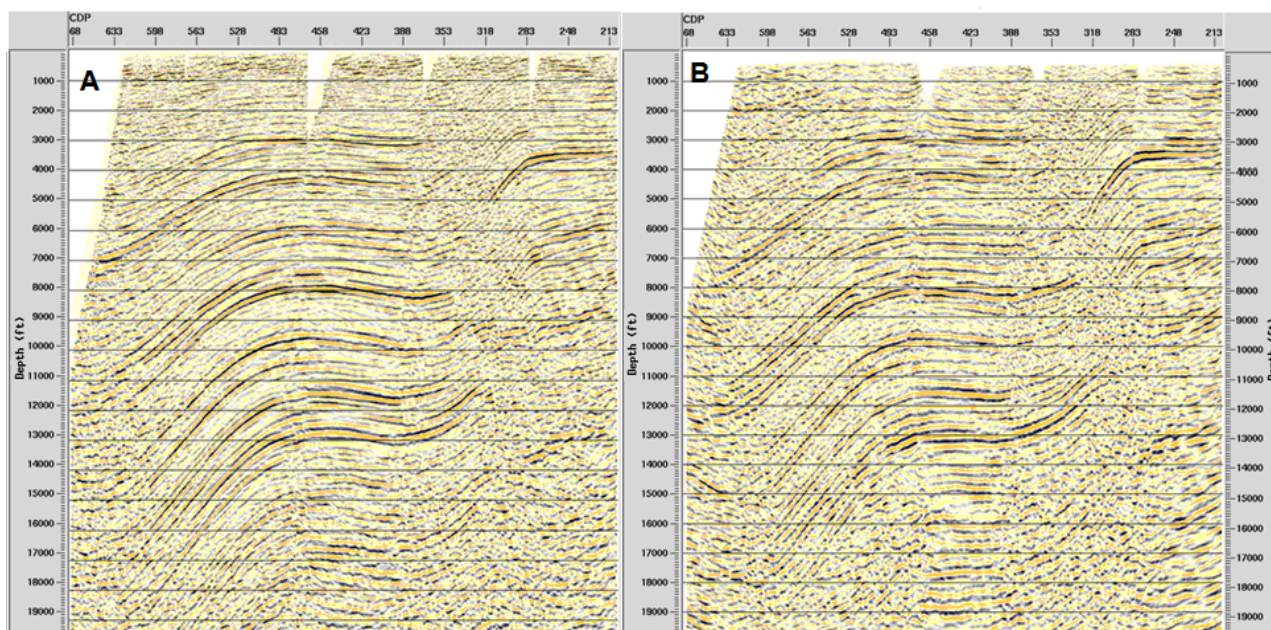
- ❖ Трансформираният в дълбочина мигриран сеизмичен разрез преди сумиране във времевата област се характеризира с определена повтаряемост в разпределението на отражателните повърхнини;
- ❖ В структурно отношение трансформирания разрез силно се различава от времевия разрез след миграция;
- ❖ По отношение на честотния си състав двете изображения се отличават с добро качество и съотношение сигнал / шум;
- ❖ Разреза в дълбочинната област, получен посредством ДКМПС на данните – Модел_90% може да се определи като структурно издържан спрямо времевия разрез;
- ❖ Получения посредством ДКМПС на данните – Модел_90 се отличава като добре сумиран с ясно изразена латерална проследяемост на отражателните повърхнини;

От направеното сравнение ясно се наблюдава значително подобрене на качеството на мигрирания в дълбочинната област разрез посредством съставения скоростен модел на средата.



Фиг. 177. Сравнение на полетата на скоростите: А - поле на оригиналните скорости върху разрез, получен след директна трансформация Време – Дълбочина; В – Поле на скоростите върху сумирани данни след ДКМПС, с използване на сеизмична томография за определяне на скоростния модел

Разреза се отличава като по-детайлен и с по-добра латерална разрешаваща способност и обвързване със сондажно-геофизичните данни, което е дискутирано по-долу.



Фиг. 184. Сравнение на резултатите от: А - трансформиран в дълбочина сеизмичен разрез, получен след Кирхов миграция преди сумиране във времевата област и В - разрез в дълбочинната област, получен посредством ДКМПС на данните, Модел_90%

IV. 4. Използване на каротажната информация за оптимизиране на скоростния модел на средата за ДКМПС и обвързване на данните в дълбочинната област

Проведена е корелация по два основни сеизмични хоризонта, привързани към отразяващи повърхнини. Хоризонтите са обвързани с определени геоложки възрасти, които се проследяват и по сондажните маркери на определените дълбочини. Първият сондажен маркер се намира на дълбочина 8233 ft, а втория - на дълбочина 12783 ft.

Разположението на корелираните хоризонти върху получените сеизмични разрези е различно. Това се дължи на разликата в скоростните модели, с които тези сумирани данни са получени.

IV. 4. 1. Геолого-геофизично обвързване на данните от модела получен от директната трансформация Време - Дълбочина

Данните за неувръзката са представени в Таблица № 10:

Таблица № 10. Геолого-геофизично обвързване на модела получен от директната трансформация Време - Дълбочина с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1

Интерпретиран хоризонт	Истинска дълбочина, ft	Дълбочина на разреза, ft	Неувръзка, ft
Жълт хоризонт	8233	8010	233
Син хоризонт	12783	12745	38

IV. 4. 2. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модела получен вследствие на резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните

Данните за неувръзката са представени в Таблица № 11:

Таблица № 11. Геолого-геофизично обвързване на модела получен вследствие на резки изменения на скоростните функции на близки разстояния, породени от ниска кратност на данните с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1

Интерпретиран хоризонт	Истинска дълбочина, ft	Дълбочина на разреза, ft	Неувръзка, ft
Жълт хоризонт	8233	8386	153
Син хоризонт	12783	13257	474

IV. 4. 3. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модела получен вследствие на намалени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ

Данните за неувръзката са представени в Таблица № 12:

Таблица № 12. Геолого-геофизично обвързване на модела получен вследствие на редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1

Интерпретиран хоризонт	Истинска дълбочина, ft	Дълбочина на разреза, ft	Неувръзка, ft
Жълт хоризонт	8233	7352	881
Син хоризонт	12783	11000	1783

IV. 4. 4. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модела получен вследствие на увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ

Данните за неувръзката са представени в Таблица № 13:

Таблица № 13. Геолого-геофизично обвързване на модела получен вследствие на увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1

Интерпретиран хоризонт	Истинска дълбочина, ft	Дълбочина на разреза, ft	Неувръзка, ft
Жълт хоризонт	8233	10354	2121
Син хоризонт	12783	16000	3217

IV. 4. 5. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модел_100%

Данните за неувръзката са представени в Таблица № 14:

Таблица № 14. Геолого-геофизично обвързване на Модел_100% с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1

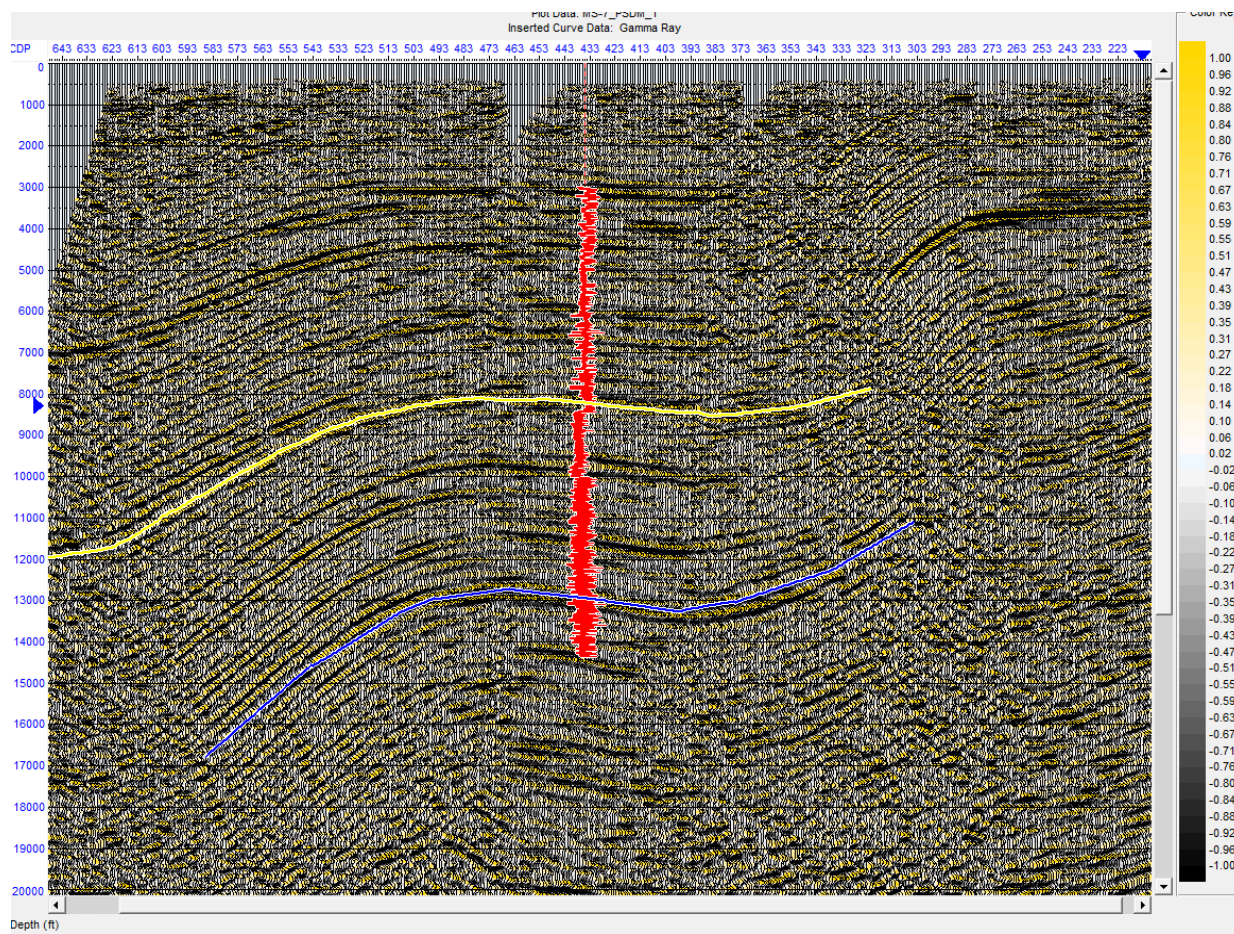
Интерпретиран хоризонт	Истинска дълбочина, ft	Дълбочина на разреза, ft	Неувръзка, ft
Жълт хоризонт	8233	7872	361
Син хоризонт	12783	11277	1506

IV. 4. 6. Геолого-геофизично обвързване на данните от Модел_90%

След обвързването на данните се наблюдава съвпадение на двата интерпретиранни хоризонта. Данните за неувръзката са представени в Таблица № 15:

Таблица № 15. Геолого-геофизично обвързване на Модел_90% с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1

Интерпретиран хоризонт	Истинска дълбочина, ft	Дълбочина на разреза, ft	Неувръзка, ft
Жълт хоризонт	8233	8230	3
Син хоризонт	12783	12779	4



Фиг. 190. Сумирани данни след ДКМПС с корелиран сондаж и интерпретирани хоризонти, Модел_90%

От направените обвързки на различните модели с интерпретираните хоризонти и каротажната информация от сондаж Well-1 следва, че единствено Модел_90% показва пълно съвпадение на корелираните сеизмични хоризонти със сондажните маркери на определените дълбочини.

IV. 4. 7. Основни изводи за оптимизиране на скоростния модел на средата за целите на ДКМПС и обвързване на данните в дълбочинната област посредством сондажни данни

От извършените анализи и обвързване на интерпретираните хоризонти в различните модели с каротажната информация от сондаж Well-1 следва, че:

- ❖ Коректния скоростния модел за извършване на ДКМПС има основно значение за категоричното геолого-геофизично обвързване на сондажните маркери със сеизмичните разрези в дълбочина;
- ❖ Дълбочинния разрез, получен посредством директна трансформация Време – Дълбочина е неподходящ за обвързване с допълнителна сондажно-геофизична информация, тъй като е получен директно с трансформирани в дълбочина интервални скорости, без да е отчетено латералното изменение в геоложката среда.

- ❖ Наличието дори на малки изменения в скоростния модел за извършване на ДКМПС имат решаващо значение за правилното позициониране на отражателните повърхнини в подповърхностното пространство;
- ❖ Обвързването на сеизмичните разрези с налични за района сондажно-геофизични данни е ключово за съставянето на адекватни геоложки модели;

С коректното обвързване на сеизмичния разрез със сондажно-геофизичните данни се дава решение и на последната задача, дефинирана в "Цел и задачи на дисертационния труд" - **Геолого-геофизично обвързване на резултатите от ДКМПС с налични за района сондажно-геофизични данни.**

V. Общи изводи

1. Изборът на оптимален латерален оператор за изглаждане на скоростното поле осигурява хомогенност на полето, като същевременно е съобразен с реалното разпределение на скоростите. По този начин отразява в най-голяма степен скоростните характеристики на разреза, като минимизира загубата на полезна информация.

2. При наличие на участъци в данните с влошено качество на сигнала, в следствие от ниска кратност на данните, сеизмичната томография подобрява качеството и коректността на скоростния модел за ДКМПС.

3. При наличие на силно изкривяване на полето на времето, предизвикано от допусната грешка при анализа на скоростното поле, предложената технологична последователност дава възможност остатъчните кинематични поправки да играят решаваща роля за локализиране на аномалиите върху дълбочинните сеизмограми. При което е демонстрирано че:

- ❖ Анализът на остатъчните скорости подобрява качеството на сумиране при интерактивната оценка.
- ❖ Редуцирането на полето на скоростите или неговото завишаване, диверсифицира възможностите за формулиране границите на изменение в структурното поле;
- ❖ Редукцията на скоростното поле с 10% е съизмерима с грешката при първоначалния подбор на кинематични поправки, което се доказва с анализа на остатъчната кинематика, при който стойността на необходимата поправка е близка до нула.

4. Достоверността на сеизмичните разрези може да бъде гарантирана единствено посредством обвързването на получените резултати със сондажно-геофизични данни. При което е показано че:

- ❖ Създаването на коректен скоростен модел за извършване на ДКМПС има основно значение за вярното геолого-геофизично обвързване на сеизмичните разрези в дълбочина и сондажните маркери;
- ❖ Наличието на малки изменения в скоростния модел за извършване на ДКМПС могат да доведат до изкривяване поведението на отражателните повърхнини в изучаваната геоложка среда;

- ❖ За създаването на геоложки издържани сеизмични модели в дълбочинната област ключово значение има обвързването на сеизмичните данни с налични за района сондажно-геофизични данни;

5. Съставената конкретна методика за извършване на ДКМПС с използването на остатъчни кинематични поправки след сеизмичната томография се явява надежден и оригинален подход за съставяне на коректни дълбочинни сеизмични разрези;

Приноси в дисертационния труд

В резултат от проведените практически изследвания, числени експерименти и проведените анализи са изведени основните научни и научно-приложни приноси, както следва:

1). Създадена е технологична последователност за оптимално изчисляване на скоростния модел на средата и извършване на ДКМПС на сеизмичните данни. Проведени са стотици числени експерименти за оценка на параметрите влияещи при Дълбочинната Кирхоф миграция преди сумиране (ДКМПС), като в Приложение са показани най-представителните резултати от тях, върху конкретен сеизмопроучвателен материал, специално избран за целите на изследванията.

2). Доказано е влиянието на скоростния модел върху качеството и коректността на ДКМПС:

- Изследвани и анализирани са различни скоростни модели с наличие на аномални, намалени и завишени стойности на скоростите на отразените сеизмични вълни по МОДТ;
- Получени са конкретни данни за влиянието на латералния оператор за изглаждане на скоростното поле. Емпирично са обосновани избраните параметри на латералното изглаждане на полето и са дефинирани основните критерии за избор на оптимален оператор.

3). Подробно е изучено влиянието на остатъчната кинематична корекция върху сеизмограми в дълбочинната област и е формулирана зависимост при оценката на достоверността на скоростния модел:

- Изучено и анализирано е влиянието на аномални скоростни функции изкривяващи полето на времето.
- Създаден е оригинален подход за изучаване и прилагане на остатъчните кинематични поправки във връзка с разпознаването на аномални скоростни функции.

4). Освен теоретични приноси, в дисертационния труд са получени и редица практико-приложни приноси. Основен от тях е изучаването, анализирането и определянето на възможностите за съставяне на скоростни модели за ДКМПС чрез методите на сеизмичната томография. При това са получени закономерности от прилагането на сеизмична томография с аномални скоростни полета, чрез анализ на картите на разпределение „ДелтаV“ и „Сноп лъчи“.

5). Доказана е необходимостта от сондажно-геофизична информация за практическо използване на получените дълбочинни разрези посредством ДКМПС. Оценена е ролята на коректния скоростен модел като средство за обвързване на

сеизмичните данни със сондажно-геофизичната информация. Изучено е влиянието на неустойчивостта на обратната задача (т.е. при малки изменения в скоростния модел за извършване на ДКМПС, се получават големи вариации в позиционирането на отражателните повърхнини) при интерпретацията на дълбочините на отразяващите хоризонти в подповърхностното пространство. Доказано е, че правилното позициониране (като най-важен параметър от интерпретацията) е резултат от оптимизационните процедури, получени вследствие прилагането на ДКМПС в комбинация със сеизмотомографския подход. Този принос е изведен като най-съществен за практическото прилагане на резултатите от изследванията в дисертационния труд.

Приложимост:

1). Създадената технологична схема за съставяне на прецизен скоростен модел на средата за ДКМПС, посредством използването на сеизмична томография в комбинация с анализ на остатъчните кинематични поправки е успешно внедрена в практиката на геофизична компания „Рексимсеиз“ ЕООД (№ СЛО42/31-10-2014) при обработката на сеизмопроучвателни данни от различни части на света.

Основни елементи от дисертационния труд са включени в обучението на студентите по лекционния курс на дисциплината „Сеизмични методи в геофизиката“. Поредица от лекции, семинарни занятия и упражнения са провеждани в продължение на няколко години по време на разработването на дисертацията за целите на модерното обучение на студентите от 3 и 4 курс – специалност „Приложна Геофизика“ към Минно-Геоложкия университет „Свети Иван Рилски“.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трудът представлява научна разработка, в която е предложена научно-обоснована технология за създаване на скоростни модели, за дълбочинна миграция преди сумиране на данните, посредством използването на сеизмична томография в комбинация с анализ на остатъчните кинематични поправки.

VII. 1. Публикации по дисертационния труд

1. Григорова, М., Рангелов, Б. *Построяване на скоростен модел за дълбочинно преобразуване на сеизмични данни*. Списание на българското геологическо дружество, год. 73, кн. 1-3, 2012, стр 137-138.
2. Григорова, М., Рангелов, Б. *Статически корекции в обработката на сеизмопроучвателни данни*. Годишник на МГУ «Св. Иван Рилски», том 55, свитък I, Геология и геофизика, София, 2012, стр. 91 -95.
3. Grigorova, M. *The aim of kinematics in 2D land seismic processing data for enhancing signal – to – noise ratio*. Proceedings of XV BMPC, Vol. 2, Sozopol, Bulgaria, 2013, pp. 1260-1262.
4. Grigorova, M. *Time – to – Depth migration using tomography based velocity model*, Proceedings of 7th Congress of Balkan Geophysical Society – Tirana, Albania, 2013, No 18499.

VII. 2. Доклади на научни форуми, конференции, симпозиуми и др.

1. Националната научна конференция с международно участие на Българското Геологическо Дружество (БГД) „Геонауки 2012“, 11-12 Декември 2012, София, България.
2. Международна научна сесия на МГУ "Св. Иван Рилски", 23-24 Октомври 2014, София, България.
3. XV Balkan Mineral Processing Congress, 12-16 June, 2013, Sozopol, Bulgaria.
4. 7th Congress of Balkan Geophysical Society, October 7-10, Tirana, Albania, 2013.

Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд:

- Добрев, Т., 1984, *Сеизмични методи в геофизиката*, Техника.
- Grigorova, M. *Time – to – Depth migration using tomography based velocity model*, 7th Congress of Balkan Geophysical Society – Tirana, 2013, No 18499.
- Cameron M., Fomel S., Sethian J., *Seismic velocity estimation and time to depth conversion of time-migrated images*. SEG International Exposition and 76th Annual Meeting, 6, 2006, 3113-3128.
- Johannes A. van Trier, *Tomographic determination of structural velocities from depth-migrated seismic data*, Stanford Exploration Project No 66, 1990, 5-6.
- Jones, E., *An introduction to: Velocity model building*, EAGE Publications, 2010, 45-51.
- Leskinen, D., *Introduction to command seismic processing*, Petty-Ray Geophysical, 1975, Inc.
- Robein, E., *Velocities, Time-imaging and Depth-imaging in Reflection Seismics. Principles and Methods*, EAGE Publicatins, 2003, p.377-461.
- Sheriff & Geldart, *Exploration Seismology*, 1995, Second Edition.
- Yilmaz, Ö. *Seismic Data Analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data*, 2001, Society of Exploration Geophysicists.
- Tsunami Development Software, 2012, www.tsunamidevelopment.com
- Landmark, *ProMAX Reference Manual*, 1995, Advanced Geophysical Corporation.