

# ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

# КАТЕДРА "ПРИЛОЖНА ГЕОФИЗИКА"

маг.инж. Мартин Христов Тошев

# ВИСОКО РАЗРЕШАВАЩА ОБРАБОТКА НА СЕИЗМИЧНИ ДАННИ СЪС ЗАПАЗВАНЕ НА ИСТИНСКИТЕ АМПЛИТУДНИ СЪОТНОШЕНИЯ, ПОЗВОЛЯВАЩА АВО-АНАЛИЗ НА ИЗВЛЕЧЕНИТЕ СВОЙСТВА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ГЕОЛОЖКИЯ РАЗРЕЗ

# ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

на дисертация за получаване на образователна и научна степен "Доктор" Научна специалност "Методи и техника на геоложките изследвания"

> София 2019



# ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

# КАТЕДРА "ПРИЛОЖНА ГЕОФИЗИКА"

маг.инж. Мартин Христов Тошев

# ВИСОКО РАЗРЕШАВАЩА ОБРАБОТКА НА СЕИЗМИЧНИ ДАННИ СЪС ЗАПАЗВАНЕ НА ИСТИНСКИТЕ АМПЛИТУДНИ СЪОТНОШЕНИЯ, ПОЗВОЛЯВАЩА АВО-АНАЛИЗ НА ИЗВЛЕЧЕНИТЕ СВОЙСТВА ЗА ЦЕЛИТЕ НА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ГЕОЛОЖКИЯ РАЗРЕЗ

# ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

на дисертация за получаване на образователна и научна степен "Доктор" Научна специалност "Методи и техника на геоложките изследвания"

Научен ръководител: проф. дгн Стефан Димовски

София 2019

Дисертационният труд е в обем 375 страници. Включва 30 фигури и 5 таблици в теоретичната част, и 216 фигури в експерименталната част. В библиографската справка са отразени 138 заглавия (3 на кирилица и 135 на латиница).

Материалът, представен в дисертацията, е структуриран във въведение, цел и задачи на дисертационния труд, четири глави и приложения.

Номерата на формулите и фигурите в автореферата са в съответствие с тези в дисертацията. Номерацията на заглавията и подзаглавията е в съответствие с тази в дисертацията.

Дисертационният труд е обсъден на 03.12.2019 г. и е насочен за защита към МГУ "Св. Иван Рилски" – София от Разширен катедрен съвет на катедра "Приложна геофизика" при МГУ "Св. Иван Рилски" – София със заповед на Ректора на Университета.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 12.02.2020 г. от 11<sup>00</sup> часа в зала 174 на ГПФ при МГУ "Св. Иван Рилски" – София на заседание на научното жури в състав:

- 1. проф. дгн Димчо Стойнев Йосифов
- 2. проф. д-р Ради Георгиев Радичев
- 3. проф. д-р Бойко Кирилов Рангелов
- 4. проф. д-р Емил Александров Ботев
- 5. проф. д-р Иванка Здравкова Паскалева

Резервни членове:

- 1. доц. д-р Александър Иванов Цветков
- 2. доц. д-р Деница Стефанова Борисова

#### Рецензенти:

- 1. Външен рецензент: проф. дгн Димчо Стойнев Йосифов
- 2. Вътрешен рецензент: проф. д-р Бойко Кирилов Рангелов

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

#### Въведение

През последните години сеизмопроучването по метода на отразените вълни претърпя коренно изменение. Преминаването през многоцелеви системи на наблюдение с натрупване на сигналите по обща дълбочинна точка (ОДТ\*), прилагането на цифрова регистрация на сеизмичните колебания и масовото внедряване на цифровата обработка позволиха рязко да се повиши точността при проследяване на сеизмичните сигнали и регистрирането на параметрите им. Това осигури възможността сеизмопроучването за нефт и газ да осъществява картиране на структурните планове на по-големи дълбочини и в по-сложни тектонски условия. В същото време, потребностите на бизнеса, който се занимава с търсене и проучване на нефтени и газови находища, значително се разширяват извън структурното картиране и традиционното установяване на конфигурацията на капаните, които биха акумулирали въглеводороди.

Все по назад във времето остава търсенето и проучването на находища на нефт и газ, вместени в антиклинални капани с карбонатни колектори, които се картират сравнително по-лесно, отколкото неантиклиналните капани с колектори - пясъчници. Отдавна са преминали времената, когато скептично настроените специалисти-проучватели са казвали: "Сеизмика ли? Сеизмика за намирането на стратиграфски капани? По никой начин. Аз ще ти кажа какво ти трябва, за да намериш стратиграфски капани - трябва ти кураж, и вяра, и оптимизъм, и системата на свободно предприемачество, и пари за просондиране на 34 стерилни сондажа", (N.Anstey, 1980). Това със сигурност е било вярно за 70-те и началото на 80-те години на миналия век. За щастие, науката и в този си раздел е претърпяла развитие и усъвършенстване. Днес вече сеизмиката разполага със:

- иновативни методи и средства за регистрация на сеизмичните вълни и обработка на записите;
- усъвършенствано представяне на резултатите, което позволява да се видят детайли по сеизмичните разрези;
- разработени програмни продукти, които обезпечават количествената интерпретация на сеизмичните данни от геоложки обекти, които са цел на търсенето;
- възможности за преобразуване на сеизмичния сигнал в акустични криви (seismic inversion);
- разработена стройна методика за АВО\*-изследвания.

Всичко това отваря нови възможности пред сеизмичните методи – вече успешно се решават задачи, свързани с определяне веществения състав на скалите, изграждащи геоложкия разрез. Към тези задачи могат да се отнесат следните:

- разделяне на изучаваните скални масиви на отделни литолого-стратиграфски комплекси;
- оценка на процентния състав на двукомпонентните масиви (пясъчници глини, глини варовици, сол-анхидрит и др.);
- оценка на порестостта на еднокомпонентните масиви;
- пряко определяне на нефтогазонаситеността на колекторите;
- откриване на зони с аномално високо пластово налягане;

• прогнозиране на оптималните параметри на проучвателното сондиране (относително тегло на сондажния разтвор, скорост на въртене на длетото, интервали за обсаждане и др.).

Гореизброените задачи не биха могли да бъдат разрешени само на базата на измерване на времето на пробег на вълните. Необходимо е съществено да се разширят методите на интерпретация, за да се извлече от сеизмичните записи информация, характеризираща веществения състав на скалите. Такава информация са физичните характеристики на пластове, влияещи на сеизмичното вълново поле и подлежащи на определяне от сеизмичните записи. Към тези характеристики се отнасят:

- амплитуда, полярност и форма на отразените вълни;
- скорост на разпространение на надлъжните вълни (P-wave);
- скорост на разпространение на напречните вълни (S-wave);
- плътност на скалите;
- акустична твърдост на скалите.

Извършването на измерване на всички или част от изброените физически характеристики на средата при определени условия, ограничаващи възможните варианти за интерпретация, дава възможност да се даде отговор за всички геолого-технически задачи.

Конвенционалната (традиционната) интерпретация дава възможност да се пикират и проследяват сеизмичните отражения за целите на картирането на геоложките структури, стратиграфията и архитектурата на резервоара. Главната цел е установяване на въглеводородни акумулации, очертаване техните размери и изчисляване техните обеми. Конвенционалната сеизмична интерпретация е изкуство, което изисква умения и задълбочен опит в геологията и геофизиката.

Сеизмичната интерпретация по същество е качествена. Сеизмичните отражения се картират добре в пространството и времето, но малко внимание се отделя на физическото разбиране на сеизмичните амплитудни вариации. В последните няколко десетилетия в сеизмичната интерпретация се обръща все повече внимание на количествените техники за сеизмична интерпретация, с които може да се установят въглеводородни аномалии и да се даде допълнителна информация по време на оценяване на перспективата и характеристиката на резервоара. Найважното в тези техники включва: сумиране със запазване на истинските амплитудни съотношения (ярко петно\* (bright spot) или мъгляво петно\* (dim spot) анализ), амплитуден анализ зависещ от офсета\* (АВО-анализ), инверсия на акустичния импеданс и сеизмично моделиране. Тези техники, ако се използват правилно, отварят нови врати за сеизмичната интерпретация.

Сеизмичните амплитуди, представящи първоначалния контраст в еластичните свойства между индивидуалните пластове, съдържат информация за литологията, за порестостта, за вида на запълващия порите флуид, както и за поровото налягане – информация, която не може да бъде получена от конвенционалната сеизмична обработка и интерпретация.

#### Цел и задачи на дисертационния труд

Основна цел на настоящият дисертационен труд е създаване на технологична схема за ABOобработка на сеизмичните данни с цел прогнозиране на геоложкия строеж.

Изследванията, които са направени за различни площи, представляват интерес поради факта, че по данни от доказана въглеводородна акумулация могат да се представят възможностите на ABOметодиките за установяване на нефтогазови залежи. За целта са използвани сеизмични, литологостратиграфски и сондажно-геофизични материали от различни райони.

Демонстрира се как ABO-моделирането предхожда възможните ABO-изследвания в площите с цел да се прогнозират промените, които биха настъпили в характеристиките на вълновото поле при промяна на флуида, който запълва колекторите в геоложкия разрез.

Съществуват площи с характеристики на геоложкия разрез, при които всяко значително локално разрастване на амплитудите върху мигрираните сумирани сеизмични данни може да се интерпретира като аномалия, предизвикана от някакъв вид въглеводородно натрупване. За съжаление, по-голямата част от проучваните площи не са с такива благоприятни характеристики на скалите, че да е дстатъчно да се използват само стандартните сеизмични разрези. В такива случаи възниква необходимостта да се анализира изменението на амплитудите на несумираните сеизмични данни в зависимост от офсета, като се приложат АВО-техники, даващи възможност да се получат

разрези на ABO-свойства и ABO-продукти. Тези разрези се използват за потвърждаване или отхвърляне на дадена амплитудна аномалия като интересна в нефтогазоностно отношение.

В заключение може да се отбележи, че интерпретацията на амплитудите по несумирани данни е изключително ефективна за намаляване на риска, когато се избира място за търсещ или експлоатационен сондаж.

Някои резултати от изследванията в дисертационния труд са публикувани в редица списания и сборници от конференции у нас и чужбина.

Резултатите от изследването са насочени основно към специалистите от нефтената и газопроучвателната промишленост.

# Част I - Литературен обзор

#### I.1. Историческа справка за развитието на проблема

През 1984 година Ostrander публикува статия в "Geophysics", в която демонстрира, че "яркопетно" технологията е надежден подход за предсказване на въглеводороди. В нея, авторът показва, че наличието на газ в пясък с покритие от шисти ще причини амплитудни изменения с офсета в сеизмичните данни преди сумиране. Посочва се, че тази промяна е свързана с намаляването на коефициента на Поасон, причинено от наличието на газ. След горепосочената публикация, Shuey(1985) потвърждава математически, чрез апроксимации на уравненията на Zoeppritz, че коефициентът на Поасон е еластична константа, която е пряко свързана с отраженията зависещи от офсета за ъгъл на падане 30°.

"Ярко-петно" аномалиите могат да бъдат изследвани преди сумиране, чрез АВО-техника. Тя става много популярна в нефтената индустрия, защото физически може да се обясни със сеизмичните амплитуди, от гледна точка на свойствата на скалите. Техниката се е оказала успешна за много площи по света, но не във всички случаи. При нея има усложнения причинени от литоложки ефекти, тунинг\* (дебелината на пласта който е ¼ от дължината на вълната) ефекти и ефекти от неконсолидирания материал над скалата. Нещо повече, обработката и придобитите ефекти могат да станат причина за грешни АВО-аномалии. Много от неуспехите не са заради самата техника, а поради грешното и използване. Неправилното прилагане на техники за извличане на информация за скоростта на S-вълната и използването на твърде прости геоложки модели са били основните причини за неуспехите. Обработващите техники, които действат на близките офсет-трасета по различен начин спрямо далечните офсет-трасета в CDP-гедрите\*, могат също да доведат до грешни ABO-аномалии. Въпреки това, през последните няколко деситилетия се наблюдава развитие на ABO-техниката. Това се дължи:

- на подобряването на 2D и 3D сеизмичната технология;
- на по-добрата предварителна обработка;
- на по-честите регистрации на S- вълната и подобряване разбирането на скалните физически свойства;
- на по-големият капацитет на данните;
- на увеличаването на акцента върху интердисциплинарните аспекти на АВО-обработката.

Техниката осигурява, както повече данни за сеизмичната интерпретация, така и представа за физични величини, които добавят информация за конвенционалната интерпретация на сеизмичните фациеси, стратиграфия и геоморфология.

В дисертационния труд се описват практическите аспекти на АВО-технологията, потенциала на тази техника като директен индикатор за въглеводородни капани. Без да се навлиза в теоретически

детайли за вълновата теория, в разработката се решават проблеми, свързани с придобиването, обработката и интерпретацията на данните за ABO-анализ.

Направеният преглед на историята на ABO-анализа основно се базира на теорията представена от Castagna (1993).

#### I.2. Коефициент на отражение

АВО-анализът (или амплитудните изменения спрямо офсета) се стреми да извлече физическите параметри чрез анализ на сеизмичните амплитуди като функция на офсета или по-точно, като функция на ъгъла на отражение. Коефициентът на отражение за плоски еластични вълни като функция на ъгъла на отражение в единичен интерфейс\* е описан чрез уравненията на Zoeppritz (Zoeppritz, 1919). За анализ на отразената Р-вълна се използва добре познатата апроксимация\* на Aki and Richards (1980), като се предполага слаб контраст в слоя:

$$R(\theta_1) \approx \frac{1}{2} \left(1 - 4\rho^2 V_s^2\right) \left(\frac{\Delta \rho}{\rho}\right) + \left(\frac{1}{2\cos^2\theta}\right) \left(\frac{\Delta V_p}{V_p}\right) - 4\rho^2 V_s^2 \left(\frac{\Delta V_s}{V_s}\right)$$
(1.2.1)

където:

 $p = \sin\theta_1/V_{p1}; \Delta\rho = \rho_2 - \rho_1; \Delta V_p = V_{p2} - V_{p1}; \Delta V_s = V_{s2} - V_{s1}; \theta = (\theta_1 + \theta_2)/2 \approx \theta_1;$  $\rho = (\rho_2 + \rho_1)/2; V_p = (V_{p2} + V_{p1})/2; V_s = (V_{s2} + V_{s1})/2$ 

В горните взаимовръзки, р е параметър на лъчът,  $\theta_1$  е ъгъла на падане,  $\theta_2$  е ъгъла на пречупване;  $V_{p1}$  и  $V_{p2}$  са скоростите на Р-вълната съответно над и под дадения интерфейс. Аналогично,  $V_{s1}$  и  $V_{s2}$  са скоростите на S-вълната, докато  $\rho_1$  и  $\rho_2$  са плътностите над и под този интерфейс – фиг. (I.2.1). От падащата Р-вълна -  $PP_{(i)}$  се образуват отразена Р-вълна -  $PP_{(r)}$  и пречупена P-вълна -  $PP_{(t)}$ , както и отразена S-вълна -  $PS_{(r)}$  и пречупена S-вълна -  $PS_{(t)}$ .



Фиг.1.2.1. Образуване на отразени и пречупени вълни на границата на две еластични среди.

Апроксимацията дадена от Aki and Richards може да бъде преработена с цел да се опрости още, както предлага (Shuey,1985)

$$R(\theta) \approx R(0) + G\sin^2\theta + F(\tan^2\theta - \sin^2\theta)$$
, (I.2.2.)

където:

$$R(0) = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V p}{V p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)$$

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез

$$G = \frac{1}{2} \frac{\Delta V p}{V p} - 2 \frac{V_s^2}{V_p^2} \left( \frac{\Delta \rho}{\rho} + 2 \frac{\Delta V s}{V s} \right) = R(0) - \frac{\Delta \rho}{\rho} \left( \frac{1}{2} + \frac{2V_s^2}{V_p^2} \right) - \frac{4V_s^2}{V_p^2} \frac{\Delta V s}{V s}$$

$$\mathbf{N}$$

$$F = \frac{1}{2} \frac{\Delta V p}{V p}, \quad (1.2.3.)$$

$$R(\theta) \approx R(0) + G\sin^2 \theta$$
, (I.2.4.)

Отразяването в нулевия офсет R(0), се контролира от разликата в акустичния импеданс от двете страни на интерфейса. Градиентът G е по-сложен от гледна точка на скалните свойства, но от представеният по-горе израз за градиента (G) се вижда, че не само контрастът в Vp и плътността въздействат на градиента, но също и Vs. Значимостта на съотношението Vp/Vs (или еквивалентния вариант - коефициент на Поасон) за даденото отражение, което зависи от офсета е установено първо от Koefoed(1955). Ostrander (1984) показва, че формациите запълнени с газ ще имат много нисък коефициент на Поасон сравнени с коефициента на Поасон в заобикалящите негазонаситени формации. Това ще причини значително увеличаване на положителните амплитуди в долната част на газонаситения пласт и значително увеличаване на отрицателните амплитуди в горната част на газонаситения пласт.

#### I.3. ABO-класове и техния анализ, чрез графика на взаимовръзките

Много полезен начин за интерпретиране на ABO-атрибутите е да се направи кросплот\*-анализ между интерсепт\* (R(0)) или (I) и градиент\* (G) (друг начин по който се означават тези свойства в практиката са: интерсепт (A) и градиент (B), както ще се означават в експерименталната част). Тези кросплотове са много полезни и по интуитивен начин представят ABO-данните и могат да дадат по-добро разбиране на физичните свойства на скалите от анализираните стандартни ABO-криви.

#### I.3.1. ABO-класове

Rutherford и Williams (1989) предлагат класификационна схема на ABO-реакцията за различните видове газонаситени пясъци. Те дефинират три ABO-класове, където горната част на газонаситените пясъци се локализира върху кросплот-анализ между R(0) и G. Кросплота е разделен на четири квадранта. В кросплота, на който по остта X е R(0) и по остта Y е G, първият квадрант е където R(0) и G са с положителни стойности (горният десен квадрант). Вторият е където R(0) е отрицателен и G е положителен (горният ляв квадрант). Третият е където R(0) и G са отрицателни (долният ляв квадрант). Четвъртият квадрант е където R(0) е положителен и G е отрицателен (долният десен квадрант). Номерата на видовете ABO-класове не трябва да бъдат обърквани с номерата на квадрантите.

Клас I се намира в четвърти квадрант с положителен R(0) и отрицателен градиент. Клас I представя силни отражения с относително висок импеданс и ниско съотношение Vp/Vs в сравнение с покриващата скала. Клас II представя пясъци със слаб интерсепт (R(0)), но силен отрицателен градиент (G). Този клас може да бъде трудно идентифициран върху сеизмичните данни, тъй като те често дават "мъгляви петна" на сумираните разрези. Клас III е ABO-категория, която обикновено се асоциира с ярко петно. Този плот в 3-ти квадрант се свързва с меки пясъци съдържащи въглеводороди.

Ross и Kinman (1995) правят разлика между клас IIp и клас II аномалии. Клас IIp има слаб, но положителен интерсепт и отрицателен градиент, което води до промяна в полярността с увеличаване на офсета. Този клас ще изчезне напълно върху сумираните разрези. Клас II има слаб, отрицателен интерсепт и отрицателен градиент, следователно няма да има промяна в полярността. Този клас може да бъде наблюдаван, като уголемена отрицателна амплитуда на разрез сумиран с всички офсети. Castagna и Swan (1997) предлагат в класификационната схема на Rutherford и Williams да се включи четвърти клас, който да се визуализира във втори квадрант. Тези пясъци са относително редки, но се проявяват когато меките газонаситени пясъци са покрити от относително твърди шисти, характеризирани от Vp/Vs съотношения малко по-високи от тези в пясъците (например много компактни и тинести шисти).

Клас	Относителен	Квадрант	R(0)	G	АВО-продукт
	импеданс				
	Пясъци с висок	4	+	-	отрицателен
	импеданс				
llp	Без или слаб контраст	4	+	-	отрицателен
II		3	-	-	положителен
III	Нисък импеданс	3	-	-	положителен
IV	Нисък импеданс	2	-	+	отрицателен

Таблица I.3.1. ABO-класове определени от Rutherford и Williams (1989) и в последстви	e
осъвършенствани от Castanga и Smith (1994), както и от Ross и Kinman	(1995)

Castagna et al.(1998), на базата на ABO-класовете на Rutherford и Williams, дефинирани за газонаситени пясъци (клас I, II, III) и въведения в последствие клас IV от (Castagna and Smith, 1994), както и клас IIp от (Ross and Kinman, 1995) представят следната обобщена класификационна схема - (фиг.I.3.1.).



Фиг.I.3.1. Обобщена класификационна схема на ABO-реакцията за различните видове газонаситени пясъци (Castagna et al., 1998)

<sup>9</sup> 

#### *I.3.2.* Обобщение на ABO-класовете

АВО-клас I представя относително твърди пясъци с въглеводороди. Тези пясъци се плотират заедно с фоновия тренд в кросплот между интерсепт и градиент. Освен това, много твърди пясъци могат да имат малка чувствителност към флуиди, затова те могат да не бъдат свързани с "плоско петно" аномалия. Следователно, тези пясъци могат да бъдат трудни за откриване от сеизмичните данни.

АВО-клас II, представя плитки пясъци с въглеводороди, често показани като "мъгляво петно" или слаби отрицателни отражения на сеизмиката. Относително големите градиенти се изявяват като аномалии в кросплот R(0)-G след като от него се изключи фоновия тренд.

АВО-клас III е класическа АВО-аномалия с отрицателен интерсепт и отрицателен градиент. Този клас представя относително меки пясъци с висока флуидна чувствителност, разположени далеко от фоновия тренд. Следователно трябва да бъдат лесно установени на сеизмичните данни.

АВО-клас IV са пясъци с отрицателен интерсепт, но положителен градиент. Коефициентът на отражение става по-малко отрицателен с увеличаване на офсета, и амплитудите намаляват спрямо офсета, въпреки че тези пясъци могат да бъдат "ярки петна" (Castagna and Swan,1997). Клас IV аномалии са относително редки, но се проявяват когато меките газонаситени пясъци са покрити от относително твърди шисти, характеризирани от Vp/Vs съотношения малко по-високи от тези в пясъците (например много компактни и тинести шисти).

АВО-класовете са дефинирани за газонаситени пясъци. Освен това АВО-системата се използва за описателна класификация на наблюдаваните аномалии, които може и да не са задължително газонаситени пясъци. АВО-клас II може да представи и морски пясъци.

#### I.4. Обзор и анализ на съвременното състояние на проблема

За да се използва при интерпретацията ABO-техниката, сеизмичните данни трябва да бъдат внимателно обработени, така че всяко забележимо изменение в амплитудата да е само в резултат на промени на коефициента на отражение, а не е в резултат от някои изкуствени ефекти в обработката. Крайната цел на обработката за ABO-анализ е да се покажат гедри с "истинско съотношение на амплитудите" променящи се спрямо офсета. Основната разлика между конвенционалната обработка и ABO-обработката е, че освен необходимостта да се съхранява истинска амплитудна информация с ABO-обработката може да бъде постигнато значително подобряване на съотношението сигнал-шум на данните. Конвенционалната обработка до голяма степен използва процеса сумиране - "натрупване на данните" за намаляване на шума. Обаче за ABO-обработката, тъй като данните трябва да бъдат анализирани преди сумирането им е подходящо в последователността на обработката да бъдат включени процедури за потискане на шума.

АВО-ефектите могат да бъдат потиснати от невнимателна обработка или от неблагоприятни геоложки условия, които да доведат до високи нива на шум, реверберации\* или други пречещи фактори. Доказателството за крайния продукт на една АВО-аномалия е да има правилна полярност, а определянето на очаквания резервоар е работа на интерпретатора. Няма стандартна работна рамка, която трябва да се следва, тъй като стъпките на обработката трябва да бъдат определени спрямо качеството на данните. В същото време, трябва да се има предвид, че работната последователност от процедури не трябва да става много дълга и сложна, тъй като би могло да се създаде изкуствен ефект от обработката, което ще доведе до лъжлива аномалия или липса на такава. Целта е в края на обработката да се наблюдава истинско АВО-поведение в зоната на интерес, където се наблюдава аномалията. Една от целите на АВО-обработката е да окаже минимално влияние върху увреждането на амплитудната вариация.

Предварителната обработка на амплитудите за АВО-анализ обикновено се прави, чрез статистически методи или с детерминистични методи. И двата подхода се стремят да коригират различните фактори на затихване, които влияят на сеизмичните данни.

Статистическите методи са адаптивни и се прилагат често, поради тяхната наличност и лекота на използване. Такива методи компенсират факторите на затихване за амплитудите, чрез изравняване на амплитудните нива в рамките на избрания прозорец по метода на най-малките квадрати. Тези методи могат да бъдат с недостатъци когато се прилагат за набор от данни с ниско съотношение сигнал-шум, тъй като се премахват много АВО-ефекти, освен ако не се вземат мерки да се балансира кохерентния сигнал.

Детерминистичните методи се стремят да предскажат различните фактори на затихване на амплитудите, влияещи на сеизмичните данни и след това да ги отстранят. За някои специалисти по обработка на сеизмични данни това е ненадежден подход. В общи линии детерминистичния подход не може да се очаква да бъде напълно успешен, защото ще изисква пълното познаване на неконсолидирания материал над скалата – например, познаване на всеки коефициент на предаване над зоната на интерес. Детерминистичния и статистическия подход имат ограничения и обикновено се прилагат така, че всеки да отчита недостатъците на другия.

Ramos представя метод за проверка на шума в данните за коректни ABO-измервания, като изучава въздействието на данните при обработката, което би довело до отклонение при оценката на ABO-атрибутите. Тази разработка се фокусира върху ABO-обработката на набор от данни, а именно – обработка за калибриране, потискане на кратни вълни и правилния ред за прилагане на различни процедури в последователността при обработването.

Обработката за ABO-калибрирането се демонстрира чрез аналитично сравнение на нормализираната амплитудна реакция на коефициента на отражение в горната и долната част на резервоара. Използват се сондажни и лабораторни данни за моделиране на позната ABO-аномалия, която съответства на присъствието на резервоар представен от пясъчник с висока пористост внедрен в шисти. Последователността на конкретната обработка е избрана така, че да оптимизира едновременно съхраняването на сеизмичната амплитуда и затихването на кохерентния шум (кратни вълни и реверберации) и да генерира ABO-атрибути, които са подобни на тези, получени от сеизмичното моделиране. Калибрирането помага да се гарантира, че амплитудите са запазени по време на обработването и че те съответстват на моделирането, като по този начин се осигурява достоверност на ABO-анализа.

# Част III - Методика на изследванията с примери върху реални сеизмични данни

По-долу се описват всички изследвания и технологии, експериментирани и внедрени в производството.

На блокови схеми III.1 и III.2 е показана технологията и основната работна последователност на АВО-обработката и анализа на сеизмичните данни



Блокова Схема.III.1. Основна работна последователност. Подготовка на ОДТ-записи и финален сеизмичен разрез за целите на последващата АВО-обработка и анализ.

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез



Блокова Схема.III.2. Основна работна последователност по време на АВО-обработката и анализа.

#### III.1. Основни етапи на АВО-обработката на сеизмични данни

#### III.1.1. Подготовка на амплитудите на сеизмичните данни за целите на АВО – обработката

#### III.1.1.1. Описание на експеримента

Един от важните елементи на сеизмостратиграфската интерпретация на сеизмичните данни е използването на различни характерни свойства, извлечени от сеизмичните колебания и изучаването изменението на амплитудите при различни отделечения от пункта на възбуждане (ABO анализ), Cambois,G.(2000).

Надеждността на тези свойства са директно свързани със съотношението сигнал/шум на данните. Първата стъпка за подобряване на това съотношение е използването на различни процедури за потискане на пречещи вълни и шум, като реверберации, повърхностни вълни, вълни от въздушни взривове, хармоничен шум, шум от превозни средства, промишлен шум.

Важни процедури в обработката са: възстановяване на истинските амплитуди с корекция за сферична дивергенция и корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия. Корекцията на сферичната дивергенция отстранява ефекта от поглъщането на сеизмичната енергия от геоложката среда. Амплитудите обикновено намаляват пропорционално с увеличаващия се радиус на разпространение на сеизмичните вълни в дълбочина, както и от изминатото разстояние между източника и приемника (офсет), Newman, P.(1973).

Процедурата за корекция влиянието на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия е модерна итеративна процедура изчисляваща коефициентите за корекция, чрез четирифакторен анализ, като запазва истинското им съотношение за различни компоненти, като източник, приемник, офсет и структурен фактор.

В сеизмичните разрези вариациите на амплитудите от отраженията могат да бъдат важни фактори в интерпретацията. Хоризонталните амплитудни вариации "от трасе към трасе" в рамките на едно отражение могат директно да индикират за представянето на въглеводороди (ярко петно). Вертикалните амплитудни вариации "от отражение към отражение" могат да бъдат полезни в установяването и корелирането на отразените хоризонти (М.Тошев, 2015).

В специалната обработка ( за целите на ABO - анализ) трябва да се обърне специално внимание на запазването на относителното разпределение на амплитудните съотношения на полето на амплитудите. Поради това е нужно да се избягва изравняване на амплитудите в целия интервал от време с прилагането на обработващи процедури като: автоматично регулиране на усилването (АРУ), баланс на амплитудите или изравняване в малки интервали от време. Обаче в някои случаи, амплитудните вариации са толкова големи, че ниските нива на енергия на отраженията стават трудни за проследяване или дори невидими. Това е поради ефектите на поглъщане, когато сигнала достига по-големи дълбочини и преминава по-дълги разстояния. Ursin,B.(1990). Поради тази причина в стандартната обработка без запазване на истинските амплитудни съотношения, за да се повишат нивата на тези слаби отражения до относително силни такива, е необходим определен размер на автоматичното регулиране на усилването за целите на компенсиране, но в такъв случай някои геоложки феномени могат да бъдат пропуснати при интерпретацията.

Автоматичното регулиране на усилването намалява амплитудните вариации в трасето. Дължината на АРУ прозореца установява степента към която амплитудите се изравняват. Много малък прозорец (по-малък от 0.5 секунди) почти ще премахне амплитудните вариации, докато поголемия прозорец (повече от 1 секунда) ще запази повече оригинални амплитуди, Ronald D.Leskinen (1975).

Процеса за запазване на амплитудите означава "запазване на амплитудните съотношения".

#### III.1.1.2. Описание и анализ на получените резултати

Дивергенцията обикновено е главния фактор, който причинява времево-зависещи амплитудни промени. Енергията се разпространява така, че силата на вълната намалява, но общата енергия във вълновото поле не се променя. Ако средата е хомогенна отслабването на амплитудите ще е обратно пропорционално на разстоянието или скоростта Vt. Обаче, тъй като скоростта основно се увеличава с дълбочината, кривината на лъчевата треактория кара вълната да се разпространява все повече и по този начин прави намаляването на амплитудите по-голямо. Newman (1973) доказва, че за паралелно наслояване, намаляването на амплитудите зависи приблизително от 1/V<sup>2</sup>rmst. Основно се измичните амплитуди намаляват експоненциално с времето, така че компенсациите за тези различни фактори се изчисляват приблизително чрез умножаване по емпиричен експоненциален фактор.

По-високите честоти затихват повече от по-ниските, затова спектъра на сеизмичния импулс се променя с времето.

В сеизмичната обработка важна процедура, която трябва да се приложи е за възстановяване на истинските амплитуди с корекция за сферична дивергенция (поради споменатото по-горе). Ефекта от тази процедура е илюстриран на (Фиг.IX.1.1-1.) без прилагане на процедурата и на (Фиг.IX.1.1-2.) с нейното действие.



Фиг.IX.1.1-1. Сеизмограми без приложено възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция



Фиг.IX.1.1-2. Сеизмограми с приложено възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция

Другата важна процедура, която се разглежда е за корекция влиянието на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия. На (Фиг.IX.1.1-3.) е показана разликата в амплитудите преди и след нейното прилагане.



Фиг.IX.1.1-3. Сравняване на амплитудите преди (в синьо) и след (в червено) прилагане корекцията за влиянието на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия

Както се вижда процедурата се стреми да приравни всички амплитуди към 1, като в същото време запазва истинското амплитудно съотношение за различните компоненти.

На следващите фигури са показани индивидуално разликите в амплитудните съотношения преди (Фиг.IX.1.1-4.) и след (Фиг.IX.1.1-6.) прилагането на процедурата за тяхната корекция.



Фиг.IX.1.1-4. Некоригирани амплитуди (първоначалните амплитудни съотношения без прилагането на каквито и да е процедури)



Фиг.IX.1.1-6. Коригирани амплитуди със запазване на истинското им съотношение

Амплитудите от (Фиг.IX.1.1-4.) и (Фиг.IX.1.1-6.) са илюстрирани и спрямо офсета, както следва: на (Фиг.IX.1.1-5.) са показани некоригираните амплитуди спрямо офсета и на (Фиг.IX.1.1-7.) съответно коригираните амплитуди спрямо офсета.



Фиг.IX.1.1-5. Некоригирани амплитуди (същите като на Фиг.IX.1.1-4.) спрямо разстоянието между източника и приемника (офсет)



Фиг.IX.1.1-7. Коригирани амплитуди (същите като на Фиг.IX.1.1-6.) с измененито им спрямо офсета

Разликите от процедурите за възстановяване на истинските амплитуди с корекция за сферична дивергенция и корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия са показани на реални сеизмограми на (Фиг.IX.1.1-8.) и (Фиг.IX.1.1-9.).



Фиг.IX.1.1-8. Сеизмограма с приложено възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция



Фиг.IX.1.1-9. Сеизмограма с приложено възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция и с приложена корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия

На (Фиг.IX.1.1-10.) е показана сеизмограма с приложено автоматично регулиране на усилването, която може да се сравни с (Фиг.IX.1.1-9.).



Фиг.IX.1.1-10. Сеизмограма с приложено автоматично регулиране на усилването

Вижда се, че автоматичното регулиране на усилването изравнява сигнала, като по този начин се губи истинското амплитудно съотношение. Заради това тази процедура е необходимо да се избягва в специалната предварителна обработка за целите на последващата АВО-обработка.

Следващата стъпка в сеизмичната обработка е сумиране на данните и получаване на сеизмичен разрез. На следващите фигури (Фиг.IX.1.1-11. и Фиг.IX.1.1-12.) може да се види разликата между

сеизмичен разрез без приложени процедури и сеизмичен разрез с възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция.



Фиг.IX.1.1-11. Сеизмичен разрез без приложени процедури



Фиг.IX.1.1-12. Сеизмичен разрез с приложено възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция

Разрез на който са приложени процедурите за възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция и корекцията на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия е показан на (Фиг.IX.1.1-13.). На (Фиг.IX.1.1-14.) е показан ефекта от автоматичното регулиране на амплитудите.



Фиг.IX.1.1-13. Сеизмичен разрез с приложено възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция и с приложена корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия



Фиг.IX.1.1-14. Разрез с приложено автоматично регулиране на усилването

На следващите две фигури (Фиг.IX.1.1-15. и Фиг.IX.1.1-16.) е показан спектърът на сеизмичен разрез с приложена процедура за корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия и без нея.



Фиг.IX.1.1-15. Спектър на сеизмичен разрез без корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия



**Фиг.IX.1.1-16.** Спектър на сеизмичен разрез с корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия

От двете фигури се вижда, че процедурата за корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия потиска високо честотните шумни трасета, като по този начин увеличава полезния сигнал, като запазва истинското амплитудно съотношение.

На (Фиг.IX.1.1-17.) е показан крайният резултат в обработката, миграция преди сумиране без прилагане на автоматично усилване на амплитудите (а) и на фигура (b) е показан фрагмент от тази миграция.



Фиг.IX.1.1-17. Миграция преди сумиране без АРУ (а) и фрагмент от миграцията в режим "wiggle" (b)

### III.1.1.3. Изводи

- За специалната обработка на сеизмичните данни е необходимо прилагането на процедурата за възстановяване на истинските амплитуди със сферична дивергенция, тъй като благодарение на нея се компенсира затихването на сеизмичната енергия на по-големите времена.
- Процедурата за корекция на амплитудите за влияние на позицията на възбуждане и приемане на сеизмичната енергия запазва истинското им съотношение и съхранява латералните изменения.
- Процедурата за автоматично регулиране на усилването трябва да се избягва в специалната сеизмична обработка, тъй като тя влияе на истинското амплитудно съотношение, като изравнява сигнала. Но за целите на структурната интерпретация, както и в случаите, когато се използват многоканални филтри, тъй като те зависят от данните да бъдат добре балансирани, е необходимо нейното реверсивно прилагане.

### III.1.2. Други важни стъпки в обработката на сеизмичните данни за целите на АВО-обработката

#### III.1.2.1. Описание на експеримента

За да се използва напълно ABO-техниката, сеизмичните данни трябва да са прецизно обработени, така че всяко забележимо изменение в амплитудата да е само в резултат на промени на коефициента на отражение вследствие промяна на физическите параметри на средата, а не е в резултат от някои странични ефекти от приложените процедури в обработката или повърхностни геоложки фактори (М.Тошев, 2017).

Една от основните задачи при ABO-обработката е получаването на сортирани по ОДТ сеизмични записи със запазени истинските амплитудни съотношения, които показват латералното изменение на полето на амплитудите с увеличаване на отдалечеността на пункта на приемане от пункта на възбуждане (ABO-аномалия).

Основната разлика между конвенционалната обработка и ABO-обработката е, че освен необходимостта да се съхранява истинското съотношение на амплитудите с ABO-обработката се постига и максимално подобряване на съотношението сигнал-шум, чрез специални процедури.

Конвенционалната обработка до голяма степен използва процедури, които променят истинското съотношение на амплитудите в процеса на генериране на сортираните по ОДТ-сеизмограми преди сумиране.

За АВО-обработката, данните са анализирани преди сумирането им така, че нивото на амплитудите преди прилагане на всяка процедура да е равно на нивото след прилагането. Този подход се нарича "обработка със запазване на истинските амплитудни съотношения".

Примерите по-долу са обработени с използването на следните основни стъпки:

- корекция на амплитудите за затихване и сферична дивергенция

- корекция на амплитудите за различните условия на възбуждане и приемане

На тези две стъпки се обърна специално внимание в раздел III.1.1. Подготовка на амплитудите

#### на сеизмичните данни за целите на АВО – обработката

- деконволюция и потискане на полето на кратните вълни

- двуетапен детайлен скоростен анализ преди миграция и един след нея

- двуетапна корекция на остатъчните статически поправки

- създаване на скоростния модел на средата на базата на скоростите за сумиране

- миграция преди сумиране на всички офсети

- генериране на сортираните по ОДТ и мигрирани сеизмични данни за анализ и извличане на АВО- свойствата

#### III.1.2.2.Описание и анализ на получените резултати

На (Фиг.IX.1.2-1.) е представен пример за избор на lag за деконволюция, а на (Фиг.IX.1.2-2) за избор на нейния оператор. Тази процедура има за цел да измени амплитудния спектър на данните към високи честоти. От нея зависи вертикалната разрешаваща способност на сеизмичните данни, както и потискането на полето на кратните вълни.



Фиг.IX.1.2-1. Лаг на деконволюцията: a/ 12ms; b/ 16ms; c/ 36ms; d/ 48ms; e/ Сеизмограма без прилагане на lag



Фиг.IX.1.2-2. Оператор на деконволюцията: a/ 80ms; b/ 120ms; c/ 160ms; d/ 200ms; e/ Сеизмограма без прилагане на оператор

След анализ на данните, параметрите които бяха избрани за дадения пример са 16ms lag и 160ms оператор.

На (Фиг.IX.1.2-3 (а)) може да се види автокорелограма на данните преди деконволюция и на (Фиг.IX.1.2-3 (b)) пример след нейното прилагане.

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез



Фиг.IX.1.2-3. Автокорелограма без прилагане на деконволюция (а) и с прилагане на деконволюция (b)

В процеса на обработка задължително трябва да се следи честотния спектър на данните, това се прави за да се контролира и запазят всички полезни честоти. От грешното прилагане на някоя процедура може да се "отреже" част от полезните честоти от което ще се намали високата разрешаваща способност на данните, към която трябва да се подхожда внимателно за целите на последващата ABO-обработка. На (Фиг.IX.1.2-4) и на (Фиг.IX.1.2-5) е демонстриран контрола на честотите на сеизмичните данни, съответно преди и след прилагането на обработващи процедури.



Фиг.IX.1.2-4. Сеизмичен запис на който не са приложени никакви процедури, както и неговият честотен спектър



Фиг.IX.1.2-5. Сеизмичен запис на който е приложена избраната деконволюция за дадения пример, с процедури за запазване на истинското амплитудно съотношение, както и неговият честотен спектър

Следващият важен етап е създаване на скоростен модел на средата. От изключителна важност е специалистът, който обработва данните да се е запознал с геоложките особености на средата, за да се съобразява при "пикирането" на скоростите с нея. Ходографа трябва да се следи прецизно и не трябва да се позволява неговото изкривяване, което ще доведе до грешно разтягане на сеизмичните амплитуди особено в далечните офсети, което ще доведе до проблеми при последващата ABOобработка. Също така от изключителна важност е и определянето на мют зоната.

След всеки скоростен анализ се пикират хоризонти по основните граници с цел изчисляване на остатъчни статически поправки. Тази процедура се прилага след въведени кинематични поправки с цел коригиране на кривините на ходографа на сеизмичните вълни, получени от влиянието на релефа и горната част на геоложкия разрез. Остатъчната статика се изразява в малки поправки върху всяко трасе на определена дълбочина, така че да се подобри хоризонталната подредба на трасетата на съответните дълбочини.

Обикновено се правят два скоростни анализа преди миграция и един след нея. Примери за скоростни анализи преди миграция са дадени на (Фиг.IX.1.2-6) и (Фиг.IX.1.2-7) и след нея на (Фиг.IX.1.2-8). Крайното скоростно поле е представено на (Фиг.IX.1.2-9).



Фиг.IX.1.2-6. Първи скоростен и мют анализ





Фиг.IX.1.2-8. Скоростен и мют анализ след Миграция



Фиг.IX.1.2-9. Крайно скоростно поле за сумиране на Миграцията

На (Фиг.IX.1.2-10 (а)) са представени ОДТ-сеизмограми получени при обработка без запазване на истинското амплитудно съотношение, а на (Фиг.IX.1.2-10 (b)) който е крайният резултат като ОДТ-сеизмограми необходими за АВО-изследванията е с описаната по-горе последователност от обработващи процедури със запазване на истинското амплитудно съотношение. Представения пример е по абсолютни стойности на офсетите, тъй като това е изискване за АВО-методиката. Сеизмичният разрез е показан на (Фиг.IX.1.2-11).

На (Фиг.IX.1.2-12) е показан извлечения сеизмичен импулс от данните в нормална и обърната полярност и неговия спектър. Този импулс се използва за нулево-фазова трансформация на сеизмограмите вход за извличане на АВО-параметрите.

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез



**Фиг.IX.1.2-10.** Сравнение на ОДТ-сеизмограми от конвенционална обработка (а) и АВО-обработка (b) на данните



**Фиг.IX.1.2-11.** Мигриран сеизмичен разрез и изучаваната амплитудна аномалия ("ярко петно")



Фиг.IX.1.2-12. Нормална и обърната полярност в зоната на аномалията

#### Извличане на АВО-параметрите

Генерираните ОДТ-сеизмограми по горната технология са входни данни за ABO-анализа и извличането на ABO-параметрите.

Извличането на АВО-параметрите включва следните етапи:

1. Входни ОДТ-сеизмограми с приложени кинематични поправки и сортирани дистанции (офсети) по абсолютната стойност (Фиг.IX.1.2-10 (b));

2. Оценка на полярността на сеизмичните данни преди ABO-обработката (Фиг.IX.1.2-12);

3. Построяване на мигриран сеизмичен разрез (Фиг.IX.1.2-11);

4. Създаване на сеизмограма за всяка ОДТ- позиция, съдържаща сеизмичните импулси отделно за ъгли например от 1 до 90 градуса (виж Фиг.IX.1.2-13). Тези сеизмограми в практиката се наричат "Angle Incidence Gather".

5. Подготовка на сондажната информация за АВО-моделирането

6. Обвързване на сондажно-геофизичната информация със сеизмичните данни

7. Подбор и пикиране на хоризонтите и интервалите за АВО-анализа.

8. Разглеждане на зоните с потенциално въглеводородно съдържание

# (точки 5-8 са разгледани подробно в Част IV. Експериментални резултати)

9. Анализ на ъглите на падане – близки, средни и далечни (виж Фиг.IX.1.2-14). В практиката се наричат "Angle Limited Gathers"

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез





Фиг.IX.1.2-14. Пример на сеизмограма за четири диапазона на ъглите на отражение: близки (3-18°), средни(18-36°), далечни (36-54°) и за целта на изследването е избран диапазон от средни до далечни (20-57°) ъгли.

Фиг.IX.1.2-13. Сеизмограма на полето на ъглите на отражение на сеизмичните вълни

10. Създаване на сеизмични разрези за близките, средните и далечни ъгли на падане (виж Фиг.IX.1.2-15).



**Фиг.IX.1.2-15.** Показване на част от сеизмичен разрез в областта на аномалията "ярко петно" за близки (3-18°), средни (18-36°), далечни (36-54°) и от средни до далечни ъгли (20-57°).

11. Извличане на АВО-параметри – Интерсепт, градиент, флуид фактор, коефициент на Поасон и др.

12. Построяване на сеизмични разрези за извлечените свойства (виж Фиг.IX.1.2-16 и IX.1.2-18).

13. Създаване на АВО-продукти по произведението на интерсепта и градиента, както и коефициента на Поасон (виж Фиг.IX.1.2-17 и Фиг.IX.1.2-19).

14. Графични зависимости ("crossplot") между извлечените АВО-параметри и анализ на аномалната зона (виж Фиг.IX.1.2-20)

За избраните диапазони на ъглите на отражение са построени сеизмични разрези. На (Фиг.IX.1.2-15) са показани фрагменти от сеизмичните разрези, които представят само аномалията "ярко петно" за различните близки, средни и далечни диапазони.

След избраният диапазон на изследване (20-57°), следва построяване на сеизмични разрези за извлечените свойства. В това изследване се разглеждат интерсепт (А) и градиент (В) само за аномалната зона (Фиг.IX.1.2-16)



Фиг.IX.1.2-16. Част от сеизмичен разрез в областта на аномалията "ярко петно" при интерсепт (а) и при градиент (b)



Фиг.IX.1.2-17. АВО-продукт от произведението между (А) и (В) само в областта на аномалията "ярко петно"



**Фиг.IX.1.2-18.** АВО-свойство "Флуид Фактор" само за аномалията "ярко петно"



Фиг.IX.1.2-19. АВО-продукт "Poisson's Ratio Change" само за аномалията "ярко петно"



Фиг.IX.1.2-20. Crossplot-анализ на извлечените свойства: интерсепт(А) и градиент(В).

Интерсепта представлява пресечката на линията на най-доброто съвпадение с остта на нулевото отдалечение източник-приемник (нулев офсет) или на нулев ъгъл на падане. Това е амплитудата на нулевия офсет, директно свързана с коефициента на отражение { Ostrander, W.J., 1984}

обикновено При сумарно трасе, амплитудната стойност на определено време е усреднена за амплитудите от всички офсети. Така това усредняване елиминира амплитудната информация, носена от всеки офсет. От друга страна обаче информацията за промяната на амплитудата с офсета се използва при изчисляването на "интерсепттрасето". В този смисъл интерсепт-разреза може да се смята за по-информативен разрез ОТ конвенционалния, в СМИСЪЛЪТ на амплитудни аномалии.

Градиента е наклона на линията на найдоброто съвпадение. Описва относителното изменение на амплитудата с ъгъла и офсета.

Голямата промяна в отношението Vp/Vs предизвиква високи стойности на градиента. Тъй като наличието на газ в порести скали силно влияе върху отношението Vp/Vs, градиент разрезите са добър индикатор за такива резервоари.

Тъй като тези свойства могат да не бъдат в най-подходяща форма за интерпретация на ABOаномалия се въвежда така наречения "ABO-продукт/индикатор". Тук са разгледани два ABO- продукта, а именно произведение между интерсепт и градиент (A\*B) и коефициент на Поасон, които са представени на (Фиг.IX.1.2-17 и Фиг.IX.1.2-19).

На (Фиг.IX.1.2-17) е показан АВО-продукт от произведението между интерсепт (А) и градиент (В) само за аномалията "ярко петно".

На (Фиг.IX.1.2-19) се разглежда АВО-продукт "Коефициент на Поасон" само за аномалията "ярко петно". Генерално скоростите на глини и пясъчници например не се различават съществено. Наличието на флуид в колектор може да предизвика разлика в скоростите на Р- и S- вълните, откъдето и аномални стойности на коефициента на Поасон {Koefoed, O.,1955}

На (Фиг.IX.1.2-18) е показано ABO-свойството "Флуид Фактор" отново само за зоната на интерес. "Флуид Фактор" е изчислен с уравнението на {Castagna, J.P,1993} за глинести скали, като оценката на съотношението на надлъжната скорост към напречната скорост на сеизмичните вълни е теоретичната, а не от сондажни данни. Отклонението на интерсепта и градиента от регионалния тренд се проявява като аномалия "Флуид Фактор". Изключително важен индикатор за установяването на въглеводородно присъствие.

Последната стъпка от ABO-обработката на сеизмичната информация е създаването на графики на взаимовръзките на различните ABO-параметри ("crossplot"). Набора от тези графики се използват при специалната интерпретация и прогнозирането на геоложкия строеж с използването на сондажна информация за литолого-стратиграфското обвързване на сеизмичната информация.

На (Фиг.IX.1.2-20) е показан един пример на взаимовръзката ("crossplot") на извлечените свойства интерсепт и градиент получени по описаната технология.

III.1.2.3. Изводи

- Демонстрираната последователност на обработка за запазване на истинското амплитудно съотношение и последващата АВО-обработка на данните помага да се разбере, колко важен инструмент е това за откриване на преки признаци за зони на натрупване на въглеводороди използвайки сезмичните данни.
- Получените резултати показват, че всяко едно от избраните свойства, както и ABOиндикаторите/продукти в случая показват силното влияние върху промените в коефициента на отражение, като функция от ъгъла на падане.
- Анализа на изменението на амплитудите спрямо офсета тук и в много случаи помага да се разграничат аномалните зони, които са свързани с амплитудни отклонения при изменение на физическите параметри на разреза.

# Част IV - Експериментални резултати

#### IV.I. Площ Галата

#### IV.I.1. Въведение

АВО-методиката се основава на изучаване и анализ на особеностите на вълновото поле, свързани с различаващата се отражателна способност на отделните повърхнини в геоложкия разрез. Използват се няколко от физическите параметри на геоложките среди: скорост на разпространение на надлъжните вълни (Vp), скорост на разпространение на напречните вълни (Vs), плътност на скалите (р), порестост на скалите, акустичен импеданс (р.Vp и р.Vs).

При представеното изследване е използван професионален специализиран софтуер. За база във всички процедури, които се използват за извличане на изброените параметри от сеизмичните данни, служи уравнението на Zoeppritz(1919), преработено от Aki&Richards(1980), а по-късно

опростено и от Shuey(1985), където е заложена линейна връзка между амплитудите на отразените вълни и sin<sup>2</sup>θ (θ - ъгъл на падане на сеизмичната вълна).

Настоящата разработка има за цел по данни от доказана въглеводородна акумулация да представи възможностите на ABO-методиката за установяване на нефтогазови залежи. За целта са използвани сеизмични, литолого-стратиграфски и сондажно-геофизични материали от района на газовото находище Галата.

В тектонско отношение площта попада върху южния борд на Варненската моноклинала, северно от Близнашкия разлом (фиг.IX.2-1 и фиг.IX.2-2).



Фиг.IX.2-1. Структурна карта по сеизмичен хоризонт, привързан към горната повърхност на палеоцена



Фиг.IX.2-2. Тектонска схема и въглеводороден потенциал на дълбоководната част на Българското черноморие с разположение на площ Галата (по проф. дгн. П.Боков и др.)

По данни от сондирането и литолого-фациалния анализ е известно (Калинко и кол.;1976г.), че моноклиналата се е формирала по палеозойско време, а в края на мезозоя целият район на съвременната Варненска моноклинала е бил издигнат и осушен. По данни от проведените в района сеизмични проучвания северно от Близнашкия разлом при последвалата ерозия са се образували палеодолини с направление североизток-югозапад, които се удълбочават на юг по посока на Долнокамчийското понижение. Палеодолините разделят релефни издигнатини, върху които запазените части от биокластичните горнокредни варовици са претърпяли окарстяване. По-късно тези положителни релефни форми са облечени от седиментите на палеоцена и еоцена. По този начин е възникнал капана при Галата, както и останалите структури, установени край Близнашкия разлом, северно от него.

Капанът при месторождение Галата е комбиниран от погребана положителна релефна форма по горнокредните карбонати в съчетание с антиклинална структура на обличане по палеоценските и еоценските седименти. Свода на структурата маркиран от изохипса -1025м, е нарушен от разсед с направление почти успоредно на Близнашкия разлом (разсед F2 на фиг.IX.2-3,а) и амплитуда не повече от 30 метра в съвременен план. Издигнат е бил южният блок, където от горната креда са запазени 18м (Р-2 Галата), срещу 197м в Р-1 Галата.

Газовият залеж Галата е вместен в платформените карбонатни седименти на палеоцена, изградени от плитководни водораслови варовици и в горнокредните биокластични варовици (в блока на Р-2). В сондаж Р-1 притоци са получени от три интервала: 1035 – 1060 м със средноеоценска възраст; 967 – 972 м (горен еоцен); 664 – 671 м (в горната част на олигоцена).



Фиг.IX.2-3. Сеизмичен профил TX92-21 a/ Сеизмичен разрез с корелирани P-wave криви от сондажи P-1 и P-2 в площ Галата; b/ Геолого-геофизичен разрез по профил TX92-21

За представените ABO-изследвания са използвани данните от сеизмичен профил TX92-21 с направление юг-север, литолого-стратиграфските и сондажно-геофизичните материали от P-1 Галата и P-2 Галата. Сеизмичните данни по използвания профил са регистрирани преди провеждането на първия сондаж, открил находището (края на 1993г. – началото на 1994г.) и преди старта на експлоатацията му.

На фиг.IX.2-3,а е показан фрагмент от реобработения за целите на ABO-изследванията сеизмичен разрез на профил TX92-21, пресичащ последователно от юг на север Близнашкия разлом, територията на газовия залеж и разлома **F1**, ограничаващ находище Галата от север.

По профила са корелирани три сеизмични хоризонта, привързани към: горната повърхност на горнокредните седименти (хоризонт К1), горните повърхности на среден и горен еоцен (хоризонти Pg2e2 и Pg2e3). В интервала CDP-370 до CDP-515 по сеизмичен профил TX92-21 се наблюдават три локални високо-амплитудни аномалии от типа "ярко петно". Аномалиите от този тип толкова добре се корелират с наличието на въглеводородно натрупване, че са известни като "пряк въглеводороден идентификатор".

#### IV.I.2. Методология и подготовка на необходимите за АВО-изследванията данни

Използваният програмен продукт включва комплект от програми за анализ на сеизмични данни преди сумиране за целите на оценяване и моделиране на амплитудните аномалии в зависимост от офсета. За ABO-обработката на избрания от площ Галата профил TX92-21 е използвана следната сеизмична и сондажно-геофизична информация, подготвена така, че да е разпознаваема и отговаряща на програмното обезпечение :

Сортирани по обща дълбочинна точка записи от сеизмичен профил ТХ92-21 (фиг.IX.2-4);

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез



Фиг.IX.2-4. ОДТ - записи по сеизмичен профил ТХ92-21, сортирани по офсети в района на дълбоките сондажи: а/ Р-1 Галата и b/ Р-2 Галата

Основна крива P-wave\_corr\_G1 (фиг.IX.2-5,a-Track2).



Фиг.IX.2-5. Сондажно-геофизична информация, използвана за настоящото изследване: a/ сондаж Р-1 Галата; b/ сондаж Р-2 Галата

Тази основна крива е получена след корелация на акустична крива P-wave от сондаж P-1 Галата с реални сеизмични данни от профил ТХ92-21. Този вид предварителна обработка се налага с цел да се калиброват взетите от сондажа акустични скорости със скоростите на разпространение на надлъжните вълни в реалната геоложка среда в района на използвания сондаж. Корелацията е направена, като са използвани: реално сеизмично трасе на ОДТ - 505 от профила (където се проектира сондаж Р-1 Галата) и синтетично трасе, генерирано от кривата Р-wave с честота на импулса 28Hz. Постигнат е много висок коефициент на корелация 0.795 (фиг.IX.2-6);



Фиг.IX.2-6. Сеизмичен профил ТХ92-21

**a**/ Корелация на акустична крива от сондаж P-1 Галата с трасе от профила; **b**/ Фрагмент от сеизмичния разрез със синтетично трасе, генерирано от корелираната крива P-wave на сондаж P-1 Галата; **с**/ Разпределение на коефициентите на корелация за различните честоти на сеизмичния импулс • Основна крива P-wave\_corr\_G2 (фиг.IX.2-5,b-Track2). Кривата P-wave от сондаж P-2 Галата е корелирана с реални сеизмични данни от профил TX92-21. Реалното трасе е от ОДТ-417 на сеизмичния разрез. Синтетичното трасе е генерирано от кривата P-wave с импулс с честота 25Hz. Коефициентът на корелация между двете трасета е 0.784 (фиг.IX.2-11);



Фиг.IX.2-11. Сеизмичен профил TX92-21 а/ Корелация на акустична крива от сондаж P-2 Галата с трасе от профила;b/ Фрагмент от сеизмичния разрез със синтетично трасе, генерирано от корелираната крива P-wave на сондаж P-2 Галата; с/ Разпределение на коефициентите на корелация за различните честоти на сеизмичния импулс

- Сондаж Р-1 Галата оригинална крива GR на естественото гама-излъчване (фиг.IX.2-5, a-Track1);
- Сондаж Р-2 Галата оригинална крива GR на естественото гама-излъчване (фиг.IX.2-5,b-Track1);

 Сондаж Р-1 Галата - крива на плътностите (фиг.IX.2-7,b), получена от основната крива чрез Gardner – трансформация;



Фиг.IX.2-7. Сондаж Р-1 Галата – криви, създадени от корелираната Р-wave за целите на приложените в разработката ABO-методики a/ основна крива P-wave\_corr; b/ крива на плътностите от Gardner-трансформация на основната крива; c/ крива на напречните вълни S-wave от Krief's – трансформация на основната крива; d/ крива на коефициентите на Поасон; e/ разпределение на коефициентите на отражение, изчислени от основната крива

• Сондаж Р-1 Галата - крива S-wave на разпределението на скоростите на напречните вълни в зависимост от дълбочината (фиг.IX.2-7,с), получена след Krief's- трансформация от основната крива;

Сондаж Р-1 Галата - крива на коефициентите на Поасон (фиг.IX.2-7,d);

• Сондаж Р-1 Галата - разпределение на коефициентите на отражение, изчислени от основната крива (фиг.IX.2-7,е).

Последните описани четири криви са трансформации от основната крива P-wave\_corr\_G1 и са използвани за P-1 Галата. Аналогичен комплект криви е подготвен и използван за ABO-изследванията в блока на сондаж P-2 Галата:

 Сондаж Р-2 Галата - крива на плътностите (фиг.IX.2-12,b), получена от основната крива чрез Gardner – трансформация;



Фиг.IX.2-12. Сондаж Р-2 Галата – криви, създадени от корелираната Р-wave за целите на приложените в разработката ABO-методики a/ основна крива P-wave\_corr\_G2; b/ крива на плътностите от Gardner - трансформация на основната крива; c/ крива на напречните вълни S-wave от Castagna's – трансформация на основната крива; d/ крива на коефициентите на Поасон; e/ разпределение на коефициентите на отражение, изчислени от основната крива

 Сондаж Р-2 Галата - крива S-wave на разпределението на скоростите на напречните вълни в зависимост от дълбочината (фиг.IX.2-12,с), получена след Castagna's- трансформация от основната крива;

Сондаж Р-2 Галата - крива на коефициентите на Поасон (фиг.IX.2-12,d);

 Сондаж Р-2 Галата - разпределение на коефициентите на отражение, изчислени от основната крива (фиг.IX.2-12,е).

АВО-технологията предоставя възможност за извършване на три групи изследвания: АВО-моделиране на газо- или нефтонасищане;

АВО-техники, базирани на отражателната способност на сеизмичните граници в геоложкия разрез; АВО-анализ на свойствата на скалите в разреза.

#### IV.I.3. АВО-моделиране на газонасищане

АВО-моделирането предхожда възможните АВО-изследвания в площта с цел да се прогнозират промените, които биха настъпили в характеристиките на вълновото поле при промяна на флуида, запълващ колекторите в геоложкия разрез (M.Toshev, 2017).

На фиг.IX.2-9 е представено ABO-моделирането по данните от сондаж P-1 Галата. Използвана е корелираната крива P-wave\_corr\_G1 при константни плътност = 2.22 g/cm<sup>3</sup> и порестост = 24% за водонасищане 5%, 30% и 100%.



Фиг.IX.2-9. ABO - моделиране при водонасищане 5,30,100%, константна плътност 2,22g/cm<sup>3</sup> за целевата зона и порестост 24% (сондаж Р-1 Галата) за диапазон на офсетите 136-1996м: а/криви при различно водонасищане; b/синтетични записи по ОДТ от показаните криви На кривата, получена при най-ниското водонасищане (5%) се отбелязва значително понижение на скоростите в целевата зона (интервала с възраст среден еоцен) – с около 600 m/s в сравнение със скоростите при водонасищане 100%. Това би създало аномални стойности на импеданса от порядъка на 1330 m/s . g/cm<sup>3</sup>.

За всеки ABO-модел на фиг.IX.2-9 са представени и синтетични записи с максимален офсет 1996m, какъвто е и максималният офсет на профил TX92-21, който не превишава ъгъл на падане 30°, но далечните офсети навлизат в Mute-зоната. Характерът на получените синтетични записи до голяма степен обяснява дълбокия Mute, приложен при стандартната обработка на сеизмичните данни от профила. Описаното моделиране е повторено (фиг.IX.2-10) със същите параметри, но с офсети в интервала 136-856м, които не навлизат в зоната на мюта. Под всеки от генерираните синтетични записи е показано и изменението на амплитудите по хоризонт в горната част на средния еоцен. При водонасищане 5% амплитудите са средно с 15% по-високи, сравнени с тези при водонасищане 100%.



Фиг.IX.2-10. ABO - моделиране при водонасищане 5,30,100%, константна плътност 2,22g/cm<sup>3</sup> за целевата зона и порестост 24% (сондаж Р-1 Галата) за диапазон на офсетите 136-856м: а/криви при различно водонасищане; b/синтетични записи по ОДТ от показаните криви; с/разпределение на амплитудите спрямо офсета

АВО-моделиране със същото водонасищане и офсети, като при моделирането на P-1 Галата е представено на фиг.IX.2-13. Използвана е корелираната крива P-wave\_corr\_G2 от сондаж P-2 Галата и параметри на колектора в целевия интервал с възраст палеоцен – горна креда: плътност 2.22 g/cm<sup>3</sup>, порестост 30%.



Фиг.IX.2-13. ABO - моделиране при водонасищане 5,30,100%, константна плътност 2,22g/сm<sup>3</sup> за целевата зона и порестост 30% (сондаж Р-2 Галата): а/криви при различно водонасищане; b/синтетични записи по ОДТ от показаните криви; с/разпределение на амплитудите спрямо офсета

Прави впечатление абсолютното съвпадение на моделите от Track1 и Track2, съвсем малките разлики в Track3 и значителното повишение на скоростите (с повече от 400 м/сек), съчетано с понижение на амплитудите в Track4 - вероятно в първоначалното си състояние геоложкият разрез,

разкрит от сондаж P-2 Галата, е бил с параметри, много близки до тези на модела, показан на фиг.IX.2-13,Track2.

IV.I.4. ABO-техники, базирани на отражателната способност на сеизмичните граници в геоложкия разрез

Доказано е, че всички теоретични разработки (уравненията на Zoeppritz, Aki&Richards и др.), които служат за основа на прилаганите ABO-техники, са валидни за падащи ъгли до 30°. За да се определи в какви граници да се простират офсетите, за да бъде спазено описаното ограничаващо условие, върху реален запис (ОДТ-470) по сеизмичен профил TX92-21 е направен градиент-анализ (фиг.IX.2-8,а). Същата процедура е повторена и върху синтетичен запис по данни от кривата P-wave\_corr\_G1 от сондаж P-1 Галата (фиг.IX.2-8,b).



**Фиг.IX.2-8.** Градиент анализ: **а**/ върху реални данни от CDP 470 на профил TX92-21; **b**/ върху синтетични данни от крива P-wave на сондаж P-1 Галата

#### IV.I.5. ABO-анализ на свойствата на скалите в разреза

В площи с благоприятни характеристики на скалите е възможно откриване на въглеводороди директно - чрез използване на стандартните сеизмични данни. Обаче, не всички площи имат толкова благоприятни физични свойства на скалите, че сеизмичните амплитуди по мигрираните сумирани данни да предоставят информация за качеството на резервоара и присъствие на въглеводороди. В такива случаи е полезно да се приложи комплекс ABO-техники, за да се види как се променят и амплитудите на несумираните данни в зависимост от офсета. Тук са показани разрези на ABO-продуктите: S-wave Reflectivity (фиг.IX.2-15), произведение A\*B (фиг.IX.2-19,a), Poisson's Ratio Change (фиг.IX.2-19,b), както и разрези на три ABO-свойства на скалите в площ Галата: Fluid Factor (фиг.IX.2-21), Intercept(A) (фиг.IX.2-14,a) и Gradient(B) (фиг.IX.2-14,b).



**Фиг.IX.2-15.** Разрез на АВО-продукт S-wave reflectivity по сеизмичен профил TX92-21

И в двата случая се вижда, че офсетите, удовлетворяващи условието ъгълът на падане да не превишава 30° и да се избегне Mute-зоната, са твърде малки – не повече от 1150 m. Това не дава възможност да се ползват такива добре работещи ABO-техники, базирани на отражателната способност на отразяващите повърхнини в геоложкия разрез, каквито са разрезите, сумирани от близки и далечни офсети, както и разрезите за различни ъгли на падане. Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез



Фиг.IX.2-19. Разрези на ABO – продуктите: а) произведение А\*В и b) Poisson's Ratio Change



Фиг.IX.2-14. Разрез на ABO – свойствата: a) Intercept(A) и b) Gradient(B)

#### IV.I.6. ABO-свойства Intercept(A) и Gradient(B)

Интерсептът е пресечката на линията на най-доброто съвпадение с остта на нулевото отдалечение източник-приемник (нулев офсет) или на нулев ъгъл на падане. Това е амплитудата на нулевия офсет, директно свързана с коефициента на отражение (Ostrander, W.J., 1984). В този смисъл, разрезът на свойството Intercept(A) (фиг.IX.2-14,а) представя изменението на коефициента на отражение на Р-вълните по профила, предизвикано от латералното изменение на физическите параметри на контактуващите по отразяващата повърхнина геоложки среди.

При обикновено сумарно трасе, амплитудната стойност на определено време е усреднена за амплитудите от всички офсети. Така това усредняване елиминира амплитудната информация, носена от всеки офсет. От друга страна обаче, информацията за промяната на амплитудата с офсета се използва при изчисляването на "интерсепт-трасето". В този смисъл интерсепт-разрезът може да се смята за по-информативен разрез от конвенционалния, когато се разглеждат и оценяват амплитудни аномалии.

Разрезът на ABO-свойството Gradient(B) (фиг.IX.2-14,b) описва с каква стъпка от ОДТ-трасе към следващо ОДТ-трасе по профила се изменя коефициентът на отражение в зависимост от офсета. Аномалните стойности са свързани с локална промяна на скоростите на вълните над и под отразяващата повърхност. Голямата промяна в отношението Vp/Vs предизвиква високи стойности на градиента. Тъй като наличието на газ в порести скали силно влияе върху отношението Vp/Vs, градиент-разрезите са добър индикатор за такива резервоари.

#### IV.I.7. ABO-анализ Crossplot(A/B)

На фиг.IX.2-18,а е представен резултата от ABO-анализа Crossplot, който осъществява взаимовръзката между ABO-свойствата Intercept(A) и Gradient(B). Отраженията от "сухи" и водонаситени седименти (така наречените фонови стойности) се плотират около линейна зависимост (wet trend), преминаваща през началото на координатната система. Наклонът й зависи от средния коефициент на Поасон. Отраженията от горната повърхност на въглеводородна акумулация се групират под "ует тренда", а отраженията от долната повърхност на резервоара – над него. Маркираните две зони – синя(F) и жълта(E), много добре се корелират с газонаситените интервали на показания Cross Section (фиг.IX.2-18,b) в участъка от профила, където са двата сондажа P-1 и P-2 Галата.



Фиг.IX.2-18. ABO - анализ Crossplot (A/B) a/ ABO – анализ Crossplot (A/B) в целевата зона по профил TX92-21 b/ ABO - Cross section в целевата зона по профил TX92-21

# IV.I.8. ABO-product A\*B

Известно е, че газонаситените пясъчници с ниски стойности на импеданса, вместени в глинести шисти, показват високи отрицателни стойности на ABO-свойствата Intercept(A) и Gradient(B). Така полученият ABO-продукт, който е резултат от произведението на двете ABO-свойства, показва положително "ярко петно" и по двете отразяващи граници на резервоара – и по горнището, и по долнището му.

На фиг.IX.2-20,а е показан фрагмент от разреза на АВО-продукта А\*В по сеизмичен профил TX92-21, където в интервала ОДТ-385 до ОДТ-420 се вижда аномалията в блока на Р-2 Галата, свързана с горна креда-палеоцен; а в интервала ОДТ-455 до ОДТ-500 се потвърждават аномалиите, привързани към средния еоцен.

АВО-продукт А\*В работи добре при аномалии Class III и Class IV, но е сред неподходящите атрибути за оценяване на аномалии Class II.



Фиг.IX.2-20. Фрагменти от разрезите на ABO – продуктите: а) произведение А\*В и b) Poisson's Ratio Change

# IV.I.9. ABO-продукт S-wave Reflectivity

Разрезът на ABO-продукта S-wave Reflectivity (фиг.IX.2-16,b) е получен като разлика на ABOсвойствата Intercept(A) и Gradient(B). Показва увеличение на импеданса на напречните вълни по горната повърхност на резервоара и може да бъде надежден индикатор за наличие на въглеводороди.



Фиг.IX.2-16. Фрагменти от разрезите на ABO-свойството Intercept(A) (a) и ABO-продукта S-wave reflectivity (b) по сеизмичен профил TX92-21

### IV.I.10. ABO-продукт Poisson's Ratio Change

На фиг.IX.2-19,b е представен разрез на ABO-индикатор Poisson's Ratio Change за аномалиите "ярко петно" по сеизмичен профил TX92-21, а на фиг.IX.2-20,b – фрагмент от същия разрез. Генерално, скоростите на глини и пясъчници например не се различават съществено. Наличието на флуид в колектора може да предизвика разлика в скоростите на P- и S- вълните, откъдето и аномални стойности на коефициента на Поасон (Koefoed, O.,1955).

Разрезът на ABO-продукта Poisson's Ratio Change е получен като сума от двете ABO-свойства Intercept(A) и Gradient(B). При наличие на въглеводородна акумулация коефициентите на Поасон показват отрицателни стойности по горната повърхност на резервоара (показател за намаляване на импеданса) и положителни стойности по долнището му (увеличение на импеданса). Трите газонаситени интервала в разреза особено добре се проследяват на фиг.IX.2-20,b.

ABO-продуктът Poisson's Ratio Change много добре подчертава аномалии от типа Class II, Class III и Class IV (Ross,2002).





Фиг.IX.2-21. Разрез(а) и фрагмент от разреза (b) на ABO – свойството Fluid Factor

На фиг.IX.2-21 е показан разрез на ABOсвойството Fluid Factor. Fluid Factor е ABOсвойството, което по най-категоричен начин може да потвърди или отхвърли набелязана амплитудна аномалия, тъй като се базира директно на скоростите на надлъжните и напречните вълни, получени от сондажни измервания, без да се намесват други ABOатрибути. Това ABO-свойство е дефинирано от Castagna (Castagna, J.P.,1993) като отклонение от изчислена по сондажнни данни зависимост Vp/Vs за водонаситени глинести скали и пясъчници. В случая е използвана корелираната крива от сондаж P-1 Галата. На фиг.IX.2-21, много добре се изявяват трите газонаситени зони, които много точно се корелират с получените при сондирането промишлени притоци.

#### IV.I.12. Изводи

Резултатите от всички АВО-техники дават основание да се направят няколко важни извода:

 На всички разрези на АВО-свойствата прави впечатление, че аномалиите се изявяват върху понисък пречещ фон в сравнение със стандартния разрез;

 Описаните амплитудни аномалии "ярко петно" по стандартния сеизмичен разрез TX92-21 се изявяват като аномални зони и на разрезите Intercept (A) (фиг.IX.2-14,a) и Gradient (B) (фиг.IX.2-14,b), предвид на това, че и едните и другите са свързани с измененията на коефициента на отражение;

Разрезите на ABO-свойствата показват по-детайлно разчленяване на газонаситения интервал и неравномерно разпределение на колекторските свойства на скалите от целевата зона, включваща седиментите с възраст горна креда-палеоцен и среден еоцен. Газонаситеният интервал от разреза в блока на сондаж P-2 Галата е един, привързан към варовиците на палеоцена и горната креда, докато в северния блок (района на сондаж P-1 Галата), основната аномална зона е привързана към горната част на средния еоцен, но значително подобрение на вместимостните характеристики на колектора са регистрирани и в долната част на еоцена, край границата среден еоцен – горна креда;

 Важен резултат е получен от ABO-технологията ABO-анализ Crossplot, където върху изобразения на фиг.IX.2-18,b Cross-section добре се проследяват горната и долната повърхност на интервалите с по-значително газонасищане;

Аномалните зони в блока на сондаж Р-1 Галата около ОДТ-450 маркират участък, където един бъдещ сондаж би бил в по-благоприятно структурно положение и като качество на колектора в сравнение с позицията на сондаж Р-1 Галата. Това особено добре е изявено на разрезите от АВОпродукта Poisson's Ratio Change (фиг.IX.2-20,b) и АВО-свойството Fluid Factor (фиг.IX.2-21).

В заключение може да се отбележи, че интерпретацията на амплитудите по несумирани данни е изключително ефективна за намаляване на риска, когато се избира място за търсещ или експлоатационен сондаж.

Строгата работна последователност е използвана също за площите Севлиево и Самотино море, но в автореферата се акцентира само върху въведението и изводите за двете площи.

# IV.II. Площ Севлиево

# IV.II.1. Въведение

Севлиевска площ заема територия с размери 13.0x10.5 км, разположена източно от град Севлиево. През периода 1986-1987г. в площта са извършени сеизмични наблюдения по метода на общата дълбочинна точка върху неравномерна профилна мрежа (Фиг.IX.3-1.). Последната реобработка на използваните в дисертацията три сеизмични профила е направена от докторанта за целите на представените АВО-изследвания, като максимално са запазени истинските амплитудни съотношения на вълновото поле.

В тектонско отношение площта попада на границата на две големи тектонски зони: Ловешко-Търновската моноклинала и Източния Предбалкан (Фиг.IX.3-2.). Граница между двете тектонски единици се явява Брестнишката флексура и стръмния северен склон на Микренско-Севлиевската антиклинала.

Сведения за дълбочинния геоложки строеж на използваната в дисертацията част от Севлиевска площ са получени основно от просондираните в площта седем дълбоки сондажа (P-1,P-2,P-4,P-7,

P-22,P-24,P-27 Севлиево). Проведените сондажи разкриват седиментите на триаса, юрата и долната креда.





Фиг.IX.3-2. Тектонска схема на част от Централна Северна България с местоположение на Севлиевска площ (по П. Боков и кол.)

Фиг.IX.3-1. Карта с разположение на сеизмичните профили в Севлиевска площ

Нефтогазоносната перспективност на територията се свързва със седиментите на карбонатния триаски комплекс, долноюрските пясъчници на Костинската свита, седиментите на средна юра - байос и хотрив-баремските седименти (Калинко и кол., 1976).

Кратък обзор на резултатите от сеизмичните и сондажните работи в Севлиевска площ:

От карбонатния среден триас в интервала 4783-4916м, разкрит от сондаж Р-1 Севлиево е получена пластова вода с разтворен газ. При опробване на долната юра над средно-триаските седименти е получен приток на газ с кондензат с дебит 63.3 хил. м<sup>3</sup>/денонощие, което дава основание да се предполага наличие на масивен газо-кондензатен залеж в долната юра и средния триас в Севлиевска площ, извън участъка от площта, наситен със сондажно-геофизични изследвания.

В седиментите на долната юра в Севлиевска площ е бил установен и вече изчерпан газокондензатен залеж, вместен в пясъчниците на Костинска свита. В средна юра в Севлиевска и Дебневска площ е получен приток на газ, разтворен в пластовите води. Счита се, че направените сондажи са в неблагоприятно структурно положение.

От горноюрско-долнокредния карбонатен комплекс в Севлиевска площ притоци не са получени, въпреки че се намира в хидрогеоложки-закрити зони. Възможно е това да е свързано с лоши колекторски свойства на комплекса, като не е изключено в непроверени по сондажен път участъци от площта да има подобряване на вместимостните характеристики на скалите, изграждащи комплекса горна юра-валанж.

Хотрив-баремските седименти в Севлиевската антиклинала са най-добре изучени. В интервала 1394-1512м (пукнатинни пясъчници с възраст K1h) от сондаж Р-24 Севлиево е получен устойчив приток на газ с дебит 15-17 хил. м<sup>3</sup>/денонощие. От три хоризонта нагоре в същия сондаж е получен газ с дебит 2-6 хил. м<sup>3</sup>/денонощие. В северния тектонски блок, сондаж С-4 Севлиево е разкрил газов залеж, акумулиран в седиментите от горната част на хотрив-барем. Полученият приток е с дебит 15-20 хил. м<sup>3</sup>/денонощие.

На фиг.IX.3-3, фиг.IX.3-4 и фиг.IX.3-5 са показани структурни карти по три сеизмични хоризонта, привързани към отразяващи граници в седиментите на хотрив-барем (хоризонт K1hb-III по горната

повърхност на песъчливата трета пачка); долноюрските отложения (хоризонт K1kss, привързан към пясъчниците на Костинската свита) и карбонатните среднотриаски седименти (хоризонт T2, привързан към горнището на Дойренската свита).



Фиг.IX.3-3. Структурна карта по отразяващ сеизмичен хоризонт, привързан към III-та пачка на хотрив-баремските седименти





Фиг.IX.3-5. Структурна карта по отразяващ сеизмичен хоризонт, привързан към горната повърхност на карбонатните триаски седименти

По сеизмичния хоризонт K1hb-III (фиг.IX.3-3.) източно от град Севлиево се очертава тясна брахиантиклинална гънка с простирание запад-изток и нарушени северно и южно крило, разположена в хорстообразно издигнат блок. Поведението на двете отразяващи граници, свързани с Костинската свита и средно-триаските карбонати, илюстрирано с фиг. IX.3-4 и фиг.IX.3-5, е почти еднакво и аналогично на поведението на хотрив-баремския хоризонт. По линия на сондажите P-1 и P-7 Севлиево се наблюдава антиклинална гънка с простирание запад-изток, отворена на запад поради липса на данни, с два издигнати участъка: около P-1 и югозападно от C-4 Севлиево. Източният свод е недоизяснен поради това, че попада в края на профилната мрежа.

При разработване на дисертацията е обърнато особено внимание на интервала, в който са регистрирани долно-средноюрските и среднотриаските отразяващи хоризонти. Тази част от геоложкия разрез е особено интересна в нефтогазоносно отношение, поради това че долносредноюрските седименти съдържат и основните генериращи скали — мергелите, аргилитите и глинестите варовици в разреза на Бачиищенската свита, Букоровския член на Озировската свита, Етрополската свита и Бовската свита; съдържат също така и перспективни колекторски хоризонти, способни да акумулират въглеводороди — пясъчниците на Костинската свита, криноидните варовици на Сухиндолския член на Озировската свита, пясъчниците на Лопянския член на Етрополската свита; тази част от разреза включва и екраниращи скали, каквито са мергелите и глинестите варовици на Бовската свита (Калинко и кол.,1976).

АВО-изследванията в Севлиевска площ са направени по три сеизмични профила(фиг.IX.3-1):

 Сеизмичен профил 103 – 05 - 86 преминава с посока юг – север през западния свод на Севлиевската антиклинална структура. Върху този профил попадат три дълбоки сондажа: Р-4 Севлиево – в южния потънал блок; Р-1 Севлиево – върху свода на структурата в централния издигнат блок и сондаж Р-2 Севлиево – в северния потънал тектонски блок.

 Сеизмичен профил 109 – 05 – 86 пресича източния свод на структурата в направление юг – север. В северния тектонски блок на около 2 км източно от профила е просондиран структурният сондаж С-4 Севлиево.  Сеизмичен профил 132 – 04 – 87 е увързващ – преминава в издигнатия централен блок с посока запад – изток по дългата ос на Севлиевската антиклинална структура. По този профил са разположени три дълбоки сондажа: Р-1 Севлиево (на пресечката с профил 103 - 05 - 86), Р-22 Севлиево и Р-7 Севлиево.

#### IV.II.12. Изводи:

АВО-изследванията в източната част на Севлиевската антиклинала имат за цел да представят един пример за прогнозиране на интересни в нефтогазоносно отношение обекти в площ, където има участъци, проверени и изучени чрез сондажи, и участъци, където не е сондирано, но се разполага със сеизмични данни.

Ако се вземат предвид всички ABO-методики, ясно е, че тези, които са базирани на непосредственото използване на скоростите на разпространение на надлъжните и напречните вълни, най-сигурно могат да потвърдят или отхвърлят една амплитудна аномалия като интересна в нефтогазоносно отношение, което естествено насочва вниманието към ABO-продукта Poisson's Ratio Change и ABO-свойството Fluid Factor. Във връзка с това, на фиг.IX.3-119 и фиг.IX.3-120 са представени разрези на ABO-продукта Poisson's Ratio Change и ABO-свойството Fluid Factor. Във връзка с това, на фиг.IX.3-119 и фиг.IX.3-120 са представени разрези на ABO-продукта Poisson's Ratio Change и ABO-свойството Fluid Factor (за интервала, включващ юрско-триаските седименти) върху комбиниран профил, композиран от: южната част на сеизмичен профил 103-05-86 (ОДТ-190 до ОДТ-262), централната част на сеизмичен профил 132-04-87 (ОДТ-87 до ОДТ-540) и северната част на сеизмичен профил 109-05-86 (ОДТ-166 до ОДТ-220).



**Фиг.IX.3-119.** Разрез на АВО-продукта Poisson's Ratio Change по линия на сондажите P-4, P-1, P-7 и P-1 Moved, композиран от сеизмичните профили 103-05-86,132-04-87 и 109-05-86



**Фиг.IX.3-120.** Разрез на АВО-свойството Fluid Factor по линия на сондажите P-4, P-1,P-7 и P-1 Moved, композиран от сеизмичните профили 103-05-86,132-04-87 и 109-05-86

Теоретичните обяснения на влиянието на нефтогазонасищането върху скоростта се основават на разчети по формулите от добре разработената теория за разпространение на еластичните вълни в порести среди, при което не се отчита влиянието на запълващия флуид върху вторичните изменения на състава и порестостта на скалата. По обобщени данни от теоретични разчети и сеизмокаротажни наблюдения, публикувани в множество научни разработки, нефтонасищането довежда до снижаване на скоростта на надлъжните вълни в пясъчниците с 8 % – 12 %, а във варовиците – с 5% до 7 %. При газонасищане ефектът нараства, особено за дълбочини, по-малки от 1км, при които скоростите в пясъчниците намаляват до 20 % в сравнение със случаите на водонасищане.

Върху скоростите на напречните вълни нефтогазонасищането оказва съвсем слабо влияние. При замяна на типа на флуида скоростта на напречните вълни се изменя само за сметка на изменението

на плътността. Плътността на скалата при замяна на водата с нефт, а на нефта – с газ, незначително се намалява. Скоростта на вълните е обратно-пропорционална на корена от плътността и затова при намаляване на плътността вследствие на нефтогазонасищане, скоростта на напречните вълни слабо нараства, обратно на скоростта на надлъжните вълни. Във връзка с това, че при типичната за циментирани седиментни скали порестост 10-25% основно влияние на големината на плътността оказва състава на твърдата фаза, изменението на плътността, както и влиянието на вида на запълващия флуид върху скоростта на напречните вълни е незначително.

Именно разнопосочното въздействие на нефтогазонасищането върху стойностите на надлъжните и напречните вълни прави толкова чувствителни и илюстративни двете ABO-изследвания, основаващи се на отношението Vp/Vs – ABO-продукта Poisson's Ratio Change и в по-голяма степен ABO-свойството Fluid Factor.

На разрезите на показаните на фиг.IX.3-119 и фиг.IX.3-120 ABO-атрибути по комбинирания профил нееднозначно се изявява доказаната със сондаж P-1 Севлиево интересна в нефтогазоносно отношение амплитудна аномалия, където в седиментите на долната юра е бил установен и вече изчерпан газо-кондензатен залеж, вместен в пясъчниците на Костинска свита. Като се вземе предвид този резултат, който добре илюстрира възможностите на ABO-технологията за оценяване на вместимостните характеристики на отделни части от геоложкия разрез, може да се отбележи изявата на още два заслужаващи внимание обекта, неизследвани и некоментирани досега, които са резултат от представената в дисертацията разработка:

Първият обект се наблюдава в блока на сондаж Р-4 Севлиево - интересната част на амплитудната аномалия, описана по-горе във времевия интервал 2100-2400ms от ОДТ-200 до ОДТ-240, се концентрира в северната, най-висока част на блока между ОДТ-220 и ОДТ-240.

Вторият обект, интересен в нефтогазоносно отношение, е свързан с източния свод на Севлиевската структура, където преминава сеизмичният профил 109-05-86 (във времевия интервал 2000-2300ms между разломите f1 и f2). Получените резултати от приложените ABO-изследвания доказват нефтогазоносната перспективност на тази част от площта.

# IV.III. Площ Самотино море

#### IV.III.1. Въведение

Сеизмичен профил BGK92-62 е вторият морски профил, представен в дисертацията по няколко причини:

• сеизмичният профил пресича друга тектонска зона с различни сеизмогеоложки условия и друг тип капани на въглеводороди;

 по профил BGK92-62 са просондирани три дълбоки сондажа, от които двата не са дали положителен резултат, а от третия е получен приток на газ, което предоставя база за сравнение при прилагане на ABO - методиките за прогнозиране на геоложкия разрез;

за регистрацията на полевите сеизмични данни по профил BGK92-62 са използвани много поголеми отдалечения от пункта на възбуждане отколкото при профила от месторождение Галата, което позволява тук да се демонстрират всички ABO-техники, базирани на отражателната способност на сеизмичните граници в геоложкия разрез, което не беше възможно да се направи по данните от профил TX92-21 при Галата.

За целите на представените ABO-изследвания е използвана част от сеизмичния профил BGK92-62 (от CDP-660 до CDP-1340), която включва участъка, в който попадат сондажите LA IV/91-1 и P-1 Самотино море. Изключена е частта от профила с неподходящо съотношение сигнал-шум и влошено качество, където попада сондаж P-1 Самотино - изток. Профилът пресича с направление северозапад - югоизток Самотинската част на Долнокамчийското понижение (фигура IX.4-1 и фигура IX.4-2).



Фиг.IX.4-1. Тектонска схема и въглеводороден потенциал на Българския Черноморски регион (по проф. дгн. П.Боков и др.)



Фиг.IX.4-2. Геоложки профил пресичащ с направление Ю-С сухоземната част на Долнокамчийското понижение (по Калинко, 1976)

На фигура IX.4-4,а е показан фрагмент от разреза, реобработен от докторанта за целите на ABOизследването по профил BGK92-62.



Фиг.IX.4-4. Сеизмичен профил BGK92-62: а/ Сеизмичен разрез с корелирани Р-wave криви от сондажи LAIV/91-1 и Р-1 Самотино море; b/ Геолого-геофизичен разрез по профил BGK92-62

Ha сеизмичния разрез са корелирани отражения от четири литолого-стратиграфски граници: долната повърхност на терциера (хоризонт bTER); горните повърхности на: палеоцена (хоризонт Pg1), долния еоцен (хоризонт Pg2e1) и на средния (хоризонт Pg2e2). еоцен В интервала от ОДТ-890 до ОДТ-1190 ПО сеизмичния профил се наблюдават поредица от локални разраствания на амплитудите: в горната и долната част на средния еоцен и в долната част на долния еоцен, като най-изразителна е аномалията около границата среден-горен еоцен. Тук трябва да се отбележи, че при сондирането на P-1 Самотино море от два интервала на дълбочина 1760 -2026 м. е получен приток на пластова вода с газ (в плитката част

на интервала) и газ с кондезат (в долната част на интервала). В този интервал от разреза се наблюдава и посочената по-горе ярка амплитудна аномалия.

#### IV.III.12. Изводи

Въз основа на получените резултати от ABO-анализа на свойствата на скалите в разреза по сеизмичен профил BGK92-62 могат да бъдат направени следните изводи:

 За амплитудната аномалия около границата среден-горен еоцен – перспективната част на интервала по всички АВО-свойства и АВО-продукти се свързва със слоя в среден еоцен около сондаж Р-1 Самотино море (фиг.IX.4-35,a,b и фиг.IX.4-38,a във времевия интервал 1750-1800msec), което абсолютно съвпада с резултатите от сондирането.



Фиг.IX.4-35. Фрагменти от ABOпродуктите: произведение A\*B (а) и Poisson's Ratio Change (b) по сеизмичен профил BGK92-62 при ъгли на падане 14°-30° за аномалиите във времевия интервал 1700-2150 мсек



Фиг.IX.4-38. Фрагменти от АВО-свойството Fluid Factor по сеизмичен профил BGK92-62 при ъгли на падане 14°-30° за аномалиите във времевите интервали: а)1700-2150 мсек и b) 2100-2560 мсек

 За амплитудната аномалия в долната част на среден еоцен – перспективният участък се измества на север в плитката част на склона (фиг.IX.4-35,a,b и фиг.IX.4-38,а във времевия интервал 1800-2100msec).

 АВО-изследванията не потвърждават като интересни в нефтогазоносно отношение двата слоя около границата горна юра – палеоген (фиг.IX.4-36,а,b и фиг.IX.4-38,b във времевия интервал 2100-2560msec).



Фиг.IX.4-36. Фрагменти от ABO-продуктите: произведение A\*B (a) и Poisson's Ratio Change (b) по сеизмичен профил BGK92-62 при ъгли на падане 14°-30° за аномалиите във времевия интервал 2100-2560 мсек

 Сондаж LAIV/91-1 попада или в близост, или в самата разломна зона, отделяща Самотинската част и дълбоката част на Долнокамчийското понижение, което обяснява отрицателните резултати, получени при изпитанието на сондажа.

### V. Научни и научно-приложни приноси

В заключение могат да се систематизират следните основни научни и научно-приложни приноси, които обобщават резултатите от представените в дисертационния труд анализи, практически изследвания и числени ескперименти:

- 1. Предложена е методика за обработка на сеизмични данни, целяща запазване на истинското амплитудно съотношение, постигане на оптимално съотношение сигнал/шум и в резултат висока разрешаваща способност на данните за целите на АВО-анализа.
- 2. Предложена е методика за ABO-обработка и анализ на сезмични данни, насочена към откриване на преки признаци за зони на натрупване на въглеводороди.
- Установено е, че аномалните зони в блока на сондаж Р-1 Галата около ОДТ-450 маркират участък, който предполага по-благоприятно структурно положение и по-добро качество на колектора в сравнение с изградения сондаж.
- 4. Установена е изявата на два потенциални в нефтогазоносна перспективност обекта в Севлиевска площ, неизследвани и некоментирани досега.
- 5. Обяснено е защо сондаж LAIV/91-1, който попада в близост или в самата разломна зона, отделяща Самотинската част и дълбоката част на Долнокамчийското понижение, дава отрицателни резултати при проведените изпитания.
- Доказва се голямото значение на максималните отдалечения от пункта на възбуждане при полевите системи на наблюдение и регистрация на сеизмични данни за целите на ABOанализа.

Предложените методики са успешно внедрени в практиката на компанията "Рексимсеиз" при обработката на сеизмопроучвателни данни от различни части на света в комбинация с употреба на сондажно-геофизична и литолого-стратиграфска информация.

# VI. Авторски публикации по Дисертационния труд

- 1. Тошев, М. 2015. Обработка на сухоземни сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения Сборник доклади от VII-ма Национална конференция по геофизика с международно участие "Геофизика 2015" 25 години Българско Геофизично Дружество, 20-23 Май 2015, София, 8 с. (on CD), ISSN: 1314-2518
- 2. Toshev, M., D. Dabovski. 2015. Examples of Multiple Suppression of Land Seismic Data – Proceedings of the 8th Congress of Balkan Geophysical Society, Chania, Greece, 5-8

*October 2015, Volume 2015,* 1-5 p. ISSN: 2214-4609, DOI: 10.3997/2214-4609.201414216

- Тошев, М. 2017. Изследване поведението на ABO-параметрите от конвенционална обработка със запазване на истинското амплитудно съотношение и от обработка по "обща отразяваща повърхност" - Сборник с доклади от V Международна научнотехническа конференция геология и въглеводороден потенциал на Балканско -Черноморския регион, 18-22 септември 2017, "Св. Св. Константин и Елена", Варна, стр. 175-182. ISBN:978-619-90939-0-0
- 4. Toshev, M., 2017. Study of the capabilities of AVO-methods for the detection of hydrocarbon accumulations *Journal of Mining and Geological Sciences, Vol. 60, Part 1, Geology and Geophysics*, pp. 94-98. ISSN: 2535-1176.
- 5а. Тошев, М. 2017. Изследвания за определяне на ABO-параметри от 2D сеизмични данни Сборник доклади от Петнадесета национална младежка научнопрактическа конференция, 25-26 Април 2017, София, стр. 1-7. ISSN: 1314-8931
- 56. Тошев, М. 2017. Изследвания за определяне на ABO-параметри от 2D сеизмични данни *Минно дело и геология, 2017*, брой 5/6, стр. 46-49. ISSN: 0861-5713

Изказвам благодарността си към моя научен ръководител дгн. проф. Стефан Димовски за ценните съвети и напътствия, които ми оказа през целия период на редовната ми докторантура.

Изказвам огромната си благодарност към инж. Димитър Драйчев (светла му памет), за професионалното ми изграждане в областта на обработката на сеизмичните данни.

Изказвам благодарността си към инж. Стефка Иванова, че ми беше консултант за изследователската част от дисертационния труд, за моралната подкрепа, която получих от нея, както и за нейната всеотдайност. Благодарение на нея аз надградих професионалните ми знания в областта на АВО-обработката и анализ.

Изказвам благодарността си към инж. Иван Павлов (Рексимсеиз ЕООД) за предоставените софтуерни продукти с помощта на които се осъществи настоящия дисертационен труд.

Благодаря на Министерството на Енергетиката Дирекция "Природни ресурси, Концесии и Контрол" за предоставените сондажни и сеизмични данни, без които нямаше да бъде възможно осъществяването на практическата част от дисертационния труд.

### VIII. Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд

- 1.Ostrander,W.J., 1984, Plane-wave reflection coefficients for gas sands at normal angles of incidence: Geophysics, 49, no.10, 1637-1648, http://dx.doi.org/10.1190/1.1441571
- 2.Shuey, R.T., 1985, A simplification of the Zoeppritz equations. Geophysics, 50, 609-614.
- 3.Castagna, J.P., 1993, Petrophysical imaging using AVO. The Leading Edge, 12, 172
- 4.Zoeppritz, K.,1919, Erdbebenwellen VIIIB, Ueber Reflexion and Durchgang seismischer Wellen durch Unstetigkeitsflaechen. Goettinger Nachrichten, I, 66-84.
- 5.Aki,K., and Richards,P.G., 1980, Quantitative Seismology: Theory and Methods. San Francisco: W.H. Freeman and Co.
- 6.Koefoed, O.,1955, On the effect of Poisson's ratios of rock strata on the reflection coefficients of plane waves. Geophys. Prospecting, 3, 381-387.
- 7.Rutherford, S.R., and Williams, R.H., 1989, Amplitude-versus-offsets variations in gas sands. Geophysics, 54, 680-688.
- 8.Castanga, J.P., and Smith, S.W., 1994, Comparison of AVO indicators: A modeling study. Geophysics, 59, 1849-1855.
- 9.Ross, C.P., and Kinman, D.L., 1995, Non-bright spot AVO: Two examples. Geophysics, 60, 1398-1408.
- 10.Castagna, J.G., Swan, H.W. and Foster, D.J., 1998, Framework for gradient and intercept interpretation. Geophysics, 63, 948-956
- 11.Castagna, J.P., and Swan, H.W., 1997, Principles of AVO crossploting. The Leading Edge, 16, 337-342
- 12.Newman, P., 1973, Divergence effects in a layered earth. *Geophysics*, 38, 481-488.
- 13.Ursin,B.,1990, Offsets-dependent geometrical spreading in a layered medium. Geophysics, 55,492-496.
- 14.Castagna, J.P. and M.M. Backus, 1993, Offset dependent reflectivity Theory and practice of AVO analysis. SEG,Tulsa, Investigations in Geophysics No.8, 348 p.
- 15.Cambois, G., 2000, Can P-wave AVO be quantitative? The Leading Edge, 19, 1246
- 16.Ronald D.Leskinen , 1975, Introduction to command seismic processing
- 17. Тошев, М., 2015, Обработка на сухоземни сеизмични данни за със запазване на истиснките амплитудни съотношения, 7ма Национална Конференция по геофизика с международно участие, 20-22 Май, София.
- 18. Тошев, М., 2017, Изследвания за определяне на АВО-параметри от 2D сеизмични данни, Петнадесета Национална Младежка Научно-Практическа Конференция, 25-26 Април, София, стр. 1-7.
- 19.Toshev, M., 2017, Study of the capabilities of AVO-methods for the detection of hydrocarbon accumulations, University of Mining and Geology, 20 October, Sofia, p. 94-98.

# Съдържание

Въведение	4
Цел и задачи на дисертационния труд	5
Част I - Литературен обзор	6
I.1. Историческа справка за развитието на проблема	6
I.2. Коефициент на отражение	7
I.3. АВО-класове и техния анализ, чрез графика на взаимовръзките	8
І.З.1. АВО-класове	8
I.3.2. Обобщение на ABO-класовете	10
I.4. Обзор и анализ на съвременното състояние на проблема	10
Част III - Методика на изследванията с примери върху реални сеизмични данни	12
III.1. Основни етапи на ABO - обработката на сеизмични данни	14
III.1.1. Подготовка на амплитудите на сеизмичните данни за целите на АВО – обработката	14
III.1.1.1. Описание на експеримента	14
III.1.1.2. Описание и анализ на получените резултати	15
III.1.1.3. Изводи	20
III.1.2. Други важни стъпки в обработката на сеизмичните данни за целите на АВО-обработката	20
III.1.2.1. Описание на експеримента	20
III.1.2.2. Описание и анализ на получените резултати	21
III.1.2.3. Изводи	27
Част IV - Експериментални резултати	27
IV.I. Площ Галата	27

Високо разрешаваща обработка на сеизмични данни със запазване на истинските амплитудни съотношения, позволяваща ABO-анализ на извлечените свойства за целите на прогнозиране на геоложкия разрез

	IV.I.1. Въведение	27	
	IV.I.2. Методология и подготовка на необходимите за АВО-изследванията данни	29	
	IV.I.3. АВО-моделиране на газонасищане	32	
	IV.I.4. АВО-техники, базирани на отражателната способност на сеизмичните граници в геоложкия разрез	34	
	IV.I.5. ABO-анализ на свойствата на скалите в разреза	34	
	IV.I.6. ABO-свойства Intercept(A) и Gradient(B)	35	
	IV.I.7. ABO-анализ Crossplot(A/B)	35	
	IV.I.8. ABO-product A*B	36	
	IV.I.9. ABO-продукт S-wave Reflectivity	37	
	IV.I.10. ABO-продукт Poisson's Ratio Change	37	
	IV.I.11. ABO-свойство Fluid Factor	37	
	IV.I.12. Изводи	38	
IV	V.II. Площ Севлиево		
	IV.II.1. Въведение	38	
	IV.II.12. Изводи	41	
IV	V.III. Площ Самотино море		
	IV.III.1. Въведение	42	
	IV.III.12. Изводи	44	
V.	√. Научни и научно-приложни приноси		
VI	/І. Авторски публикации по Дисертационния труд		
VI	/III. Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд		