



ЗАО “Градиент”

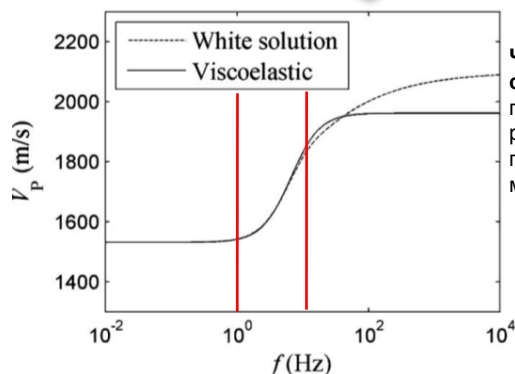
**МЕТОД НИЗКОЧАСТОТНОГО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ДЛЯ РАЗВЕДКИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ И
СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ
УГЛЕВОДОРОДОВ**

Рыжов Д.А., Рыжов В.А., Биряльцев Е.В., Шарапов И.Р., Шабалин Н.Я.

г. Москва, Гальперинские чтения, 2014 г.

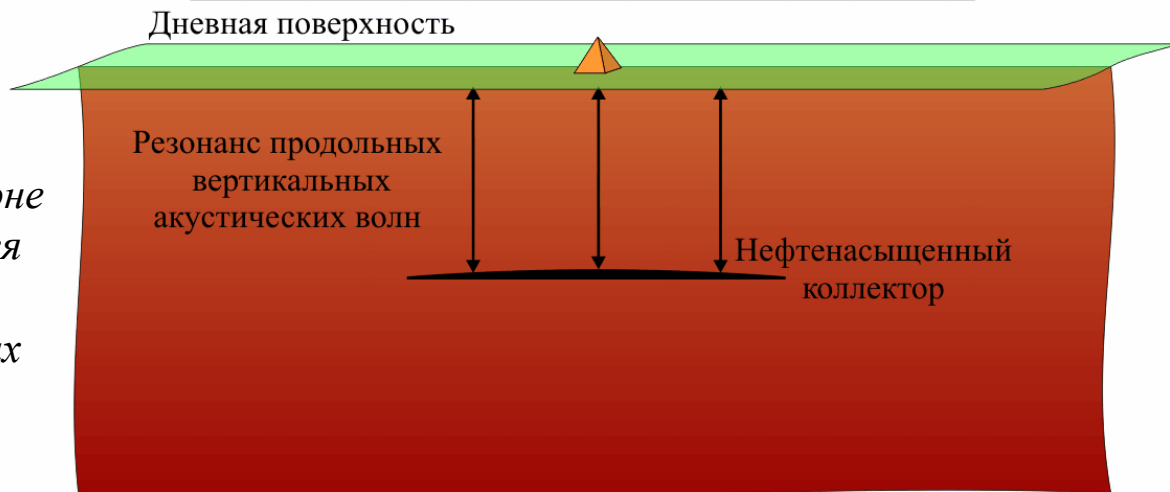
В основе метода НСЗ лежит эффект аномального отражения залежью УВ низкочастотных сейсмических волн

1. Слоистая геологическая среда рассматривается как **фильтр сейсмических колебаний**.
2. Нефтегазовая залежь в диапазоне частот от 1 Гц до 5 Гц является **аномальным объектом с точки зрения отражения, сейсмических волн**.



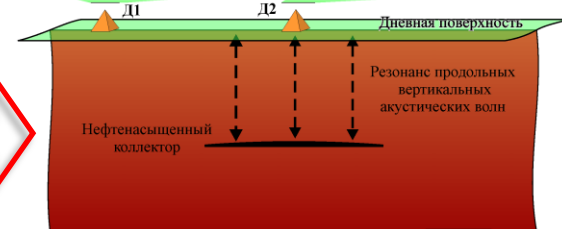
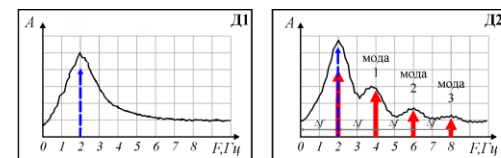
Частотная зависимость скорости Р-волны (V_p) полученная аналитическими решениями моделей перетока флюида между микрослоями (White solution)

Low-frequency reflections from a thin layer with high attenuation caused by interlayer flow (Beatriz Quintal, Stefan M. Schmalholz, Yuri Y. Podladchikov)



Частотное местоположение максимумов зависит от глубины залегания залежи и скоростной характеристики георазреза.

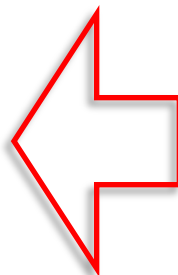
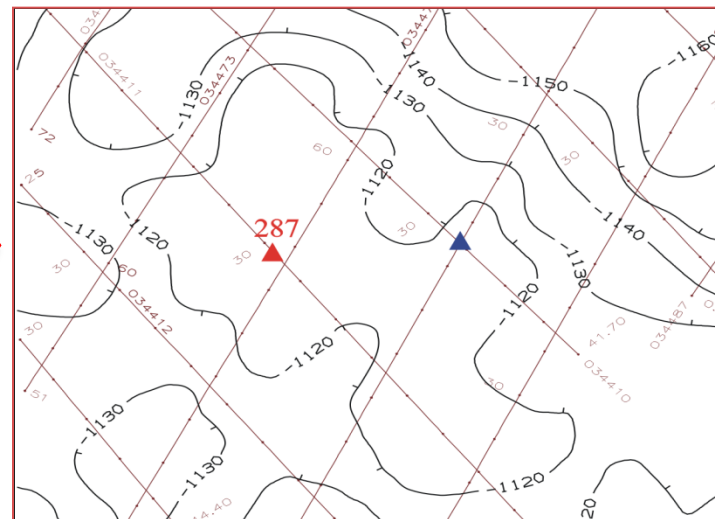
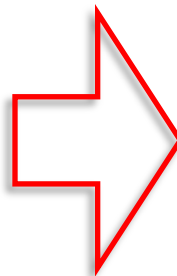
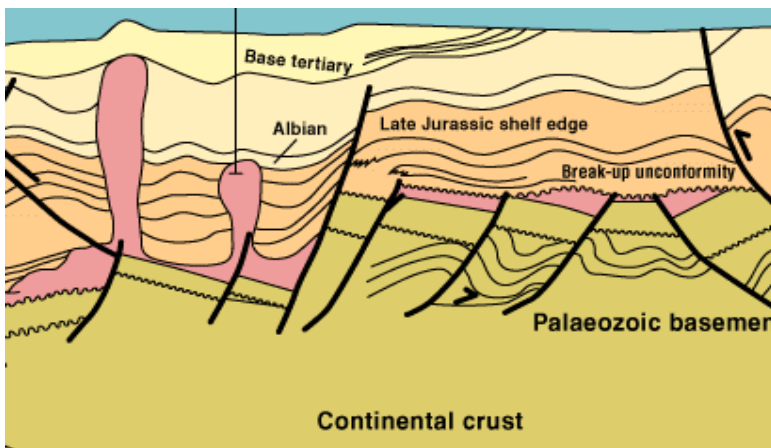
Структура спектра микросейсм над залежью УВ отличается от структуры спектра вне залежи.



Актуальность применения НСЗ

1. Наличие положительной структуры не является гарантом выявления залежи УВ.

2. Сейсморазведочные исследования, нацелены в большинстве своем на изучение геометрии пласта, при этом актуальным остается вопрос оценки продуктивности локальных структур перед постановкой глубокого бурения.



3. Сложная геология (солевые отложения, биогермы, разломы и др.), неструктурные ловушки, малоамплитудные структуры снижают эффективность поисково-разведочного и эксплуатационного бурения

Применение Низкочастотного Сейсмического Зондирования (НСЗ) в комплексе с традиционной сейсморазведкой позволяет выявлять непосредственно залежи углеводородов и поддерживать высокий уровень эффективности глубокого бурения.

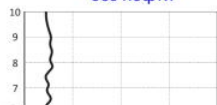
Этапы исследования методом НСЗ

Полноволновое численное моделирование

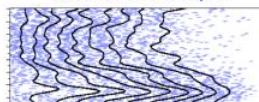


Обработка

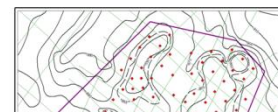
Модельный спектр без нефти



2D - гистограмма со скважины без нефти



Проектирование, полевые работы



Dry

Oil

Simulated

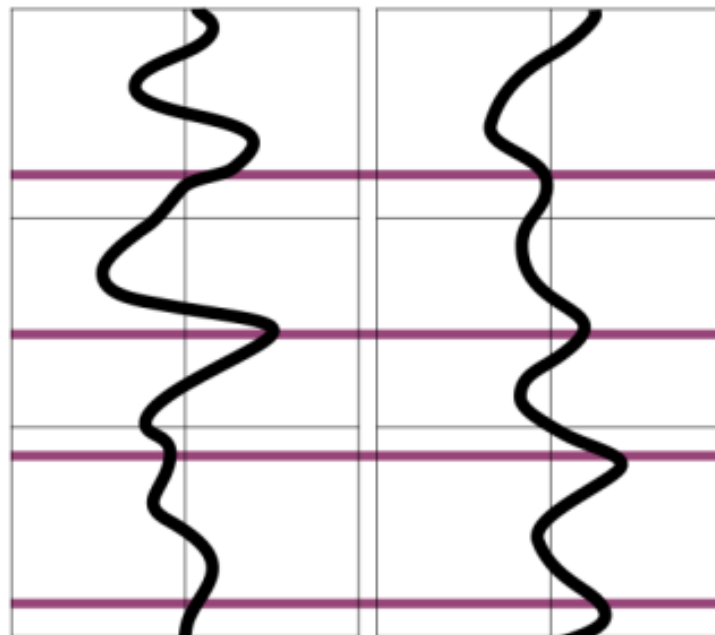
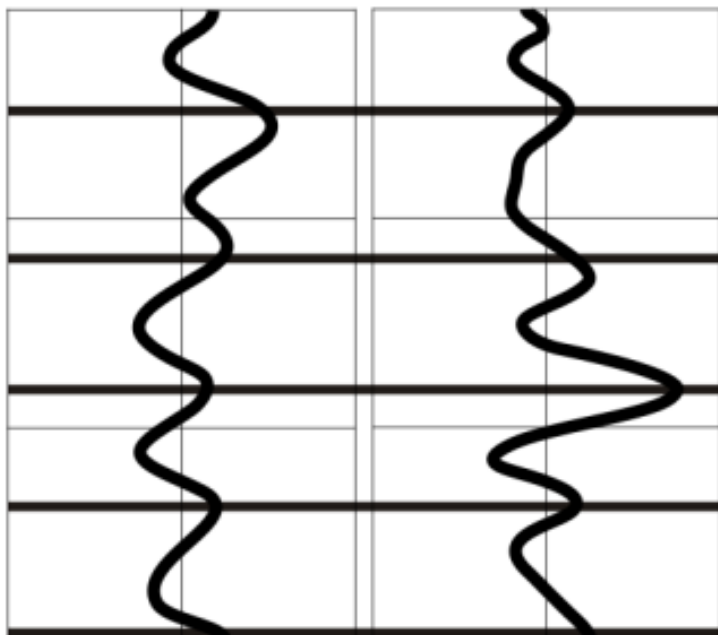
Real

Simulated

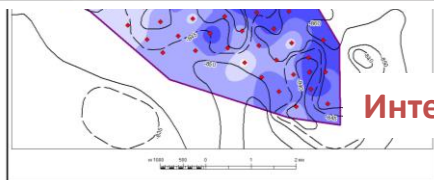
Real

3D

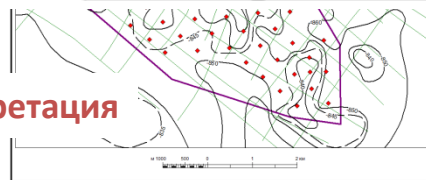
Карта спектров



скважин



Интерпретация

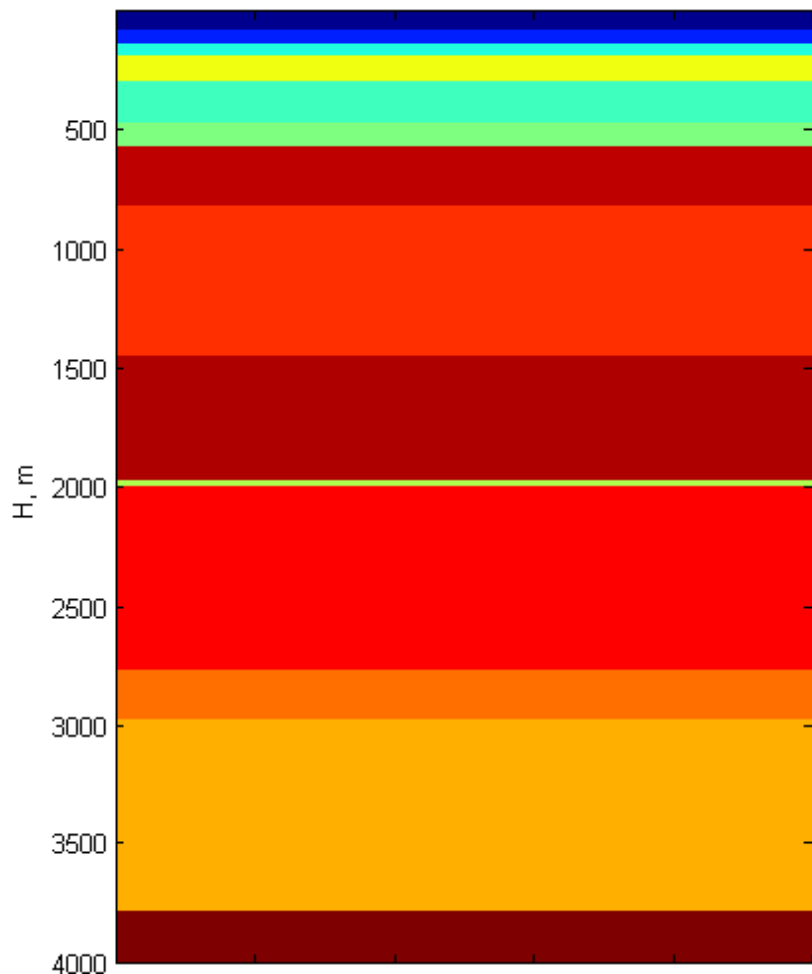


111

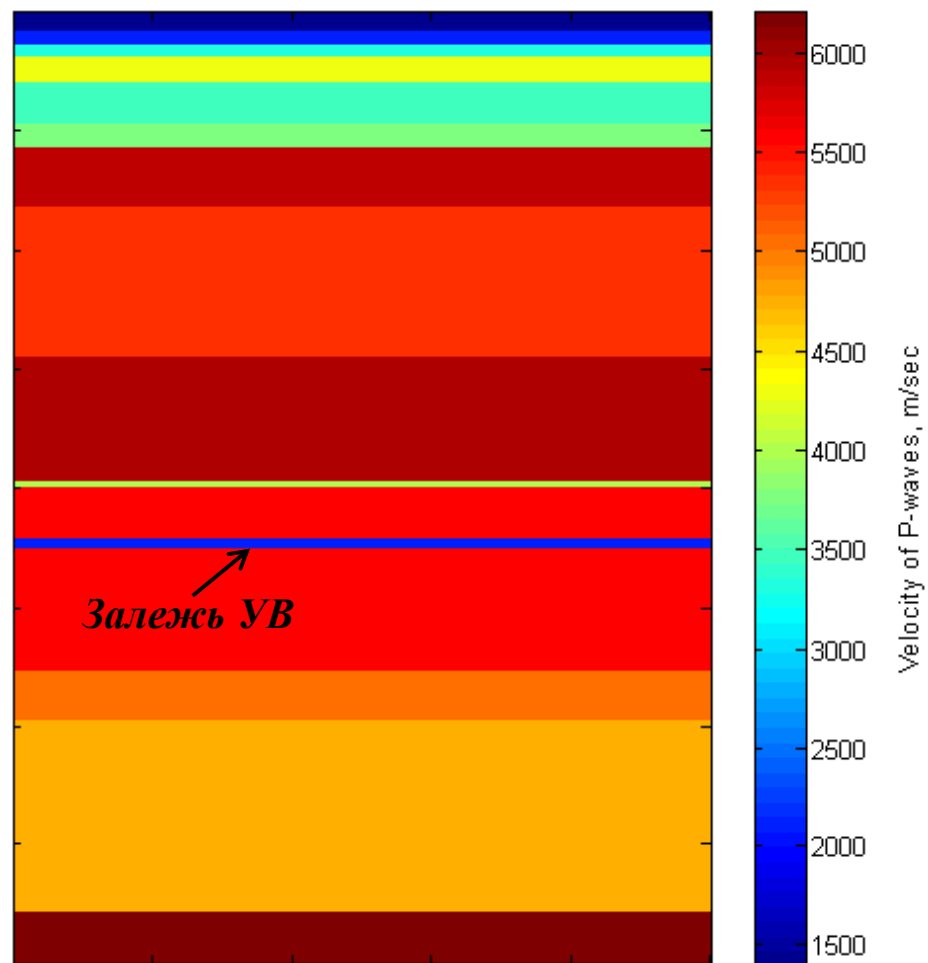
Полноволновое 2D - численное моделирование

Скоростной разрез модели

Разрез с отсутствием
залежи УВ



Разрез с наличием
залежи УВ



Полноволновое 2D - численное моделирование

*Разрез с отсутствием
залежи УВ*



*Разрез с наличием
залежи УВ*



Залежь УВ

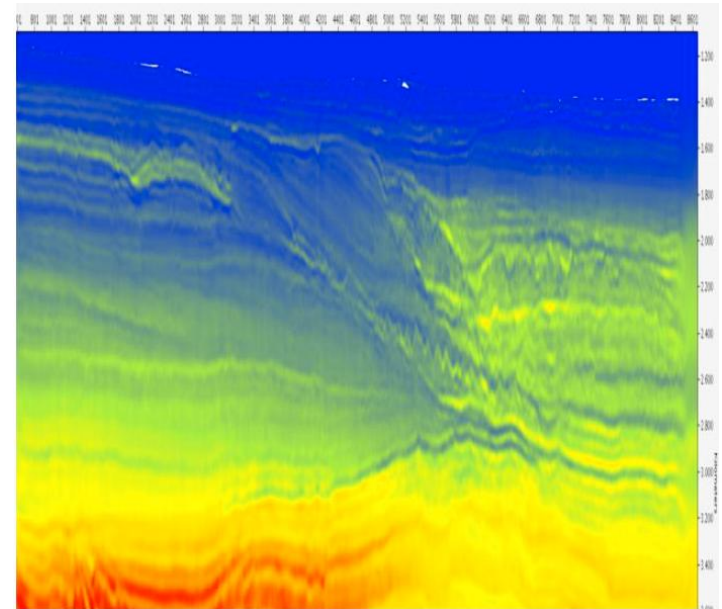
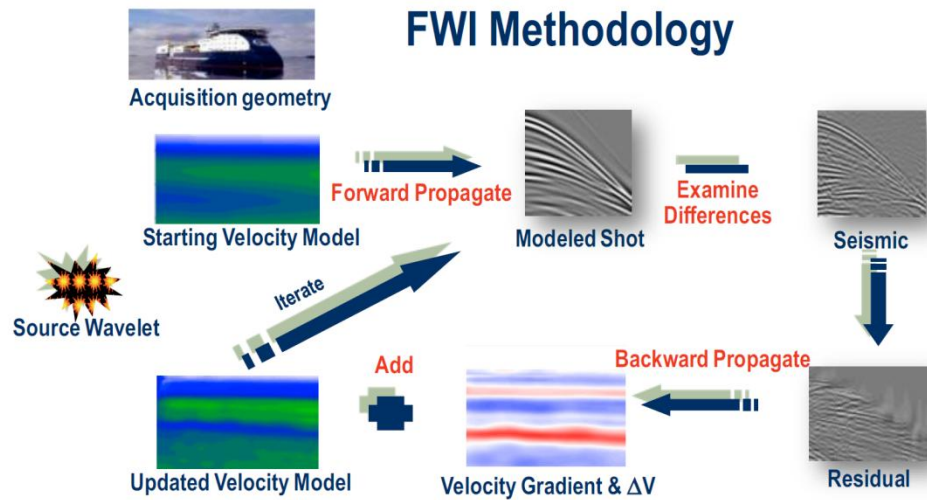
Эффективность технологии НСЗ

Год проведения НСЗ	Кол-во пробурен. скв-н	Вскрытые нефтеносные отложения при бурении	Кол-во скважин с эффектом	Средняя нефтенасыщенная толщина по ГИС, м	Успешность прогноза, %
2005	38	тула-бобрик, верей-башкир	37	3,4	97,1
2006	14	девон, турней, бобрик, верей-башкир	11	9,9	78,5
2007	29	ср. девон, фамен, турней, бобрик, верей-башкир	21	2,4	72,4
2008	10	девон, фамен, турней, бобрик, верей-башкир	9	3,6	90
2009	1	бобрик	1	-	100
2010	8	турне, верхняя юра	7	-	87,5
2011	14	терриг. и карбон. девон, бобрик, турне	12	-	85,7
2012	3	карбон. девон, бобрик, турне	3		100
2013	3	бобрик, турне, сред. карбон	3		100
ИТОГО	120		104	5,2	86,7

С учетом прогнозных оценок НСЗ пробурено 120 скважин со вскрытием карбонатных и терригенных коллекторов 104 из которых подтвердили нефтеперспективность объектов.

Эффективность прогноза более 85 %.

Полноволновая инверсия



*S. Kapoor, D. Vigh, E. Wiarda, S. Alwon (WesternGeco)
 Full Waveform Inversion Around the World
 75 EAGE Conference London UK 10-13 June 2013*

Постановка задачи

Прямая задача численного моделирования заключалась в получении АЧХ характеристик среды с разными параметрами залежи.

Цель: *Выявление принципиальных возможностей создания методики FWI для пассивных данных (НСЗ).*

Контрастность:
$$k = \frac{\rho \cdot V_3}{\rho \cdot V_{cp}} = \frac{V_3}{V_{cp}}$$

Эксперимент на основе численного моделирования:

- 1) Определение k одной залежи, когда H известна,*
- 2) Определение k одной залежи, когда H не известна,*
- 3) Определение k нескольких залежей, когда H не известны.*

Используемые метрики

Линейный коэффициент корреляции Пирсона

$$r_{XY} = \frac{\text{COV}_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum (X - \hat{X})(Y - \hat{Y})}{\sqrt{\sum (X - \hat{X})^2 \sum (Y - \hat{Y})^2}}$$

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad d - \text{разность рангов } X_i \text{ и } Y_i$$

Коэффициент ранговой корреляции Кендалла

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$$

S – разность вероятностей того, что ранги двух переменных совпадают и того, что они различны

Используемые метрики

Критерий Колмогорова-Смирнова

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|$$

sup – точная верхняя грань, *F* – предполагаемая модель

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$$

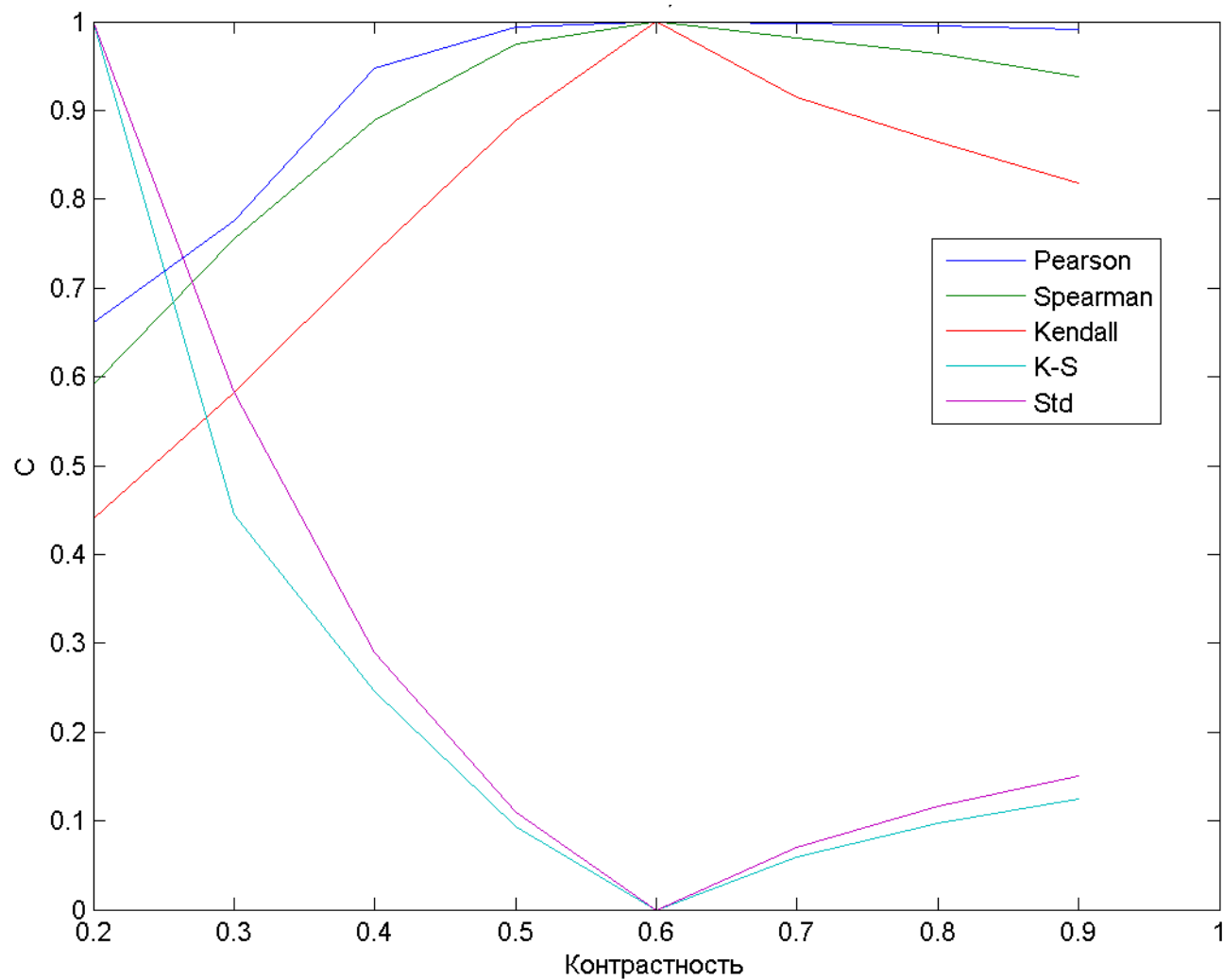
Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sum (X - Y)^2}{n}}$$

Эксперимент №1

Определение k одной залежи, когда N известна

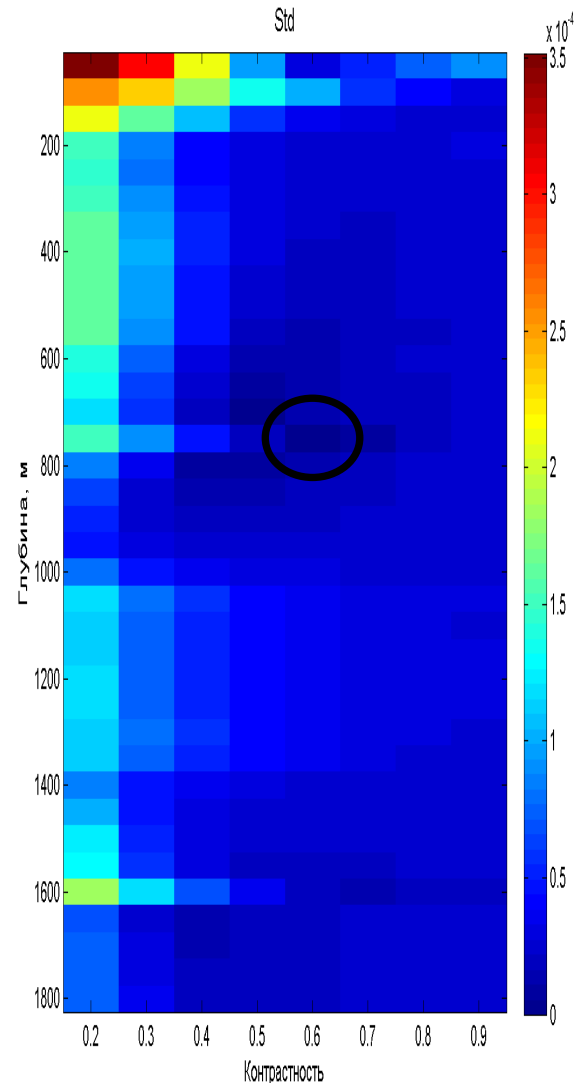
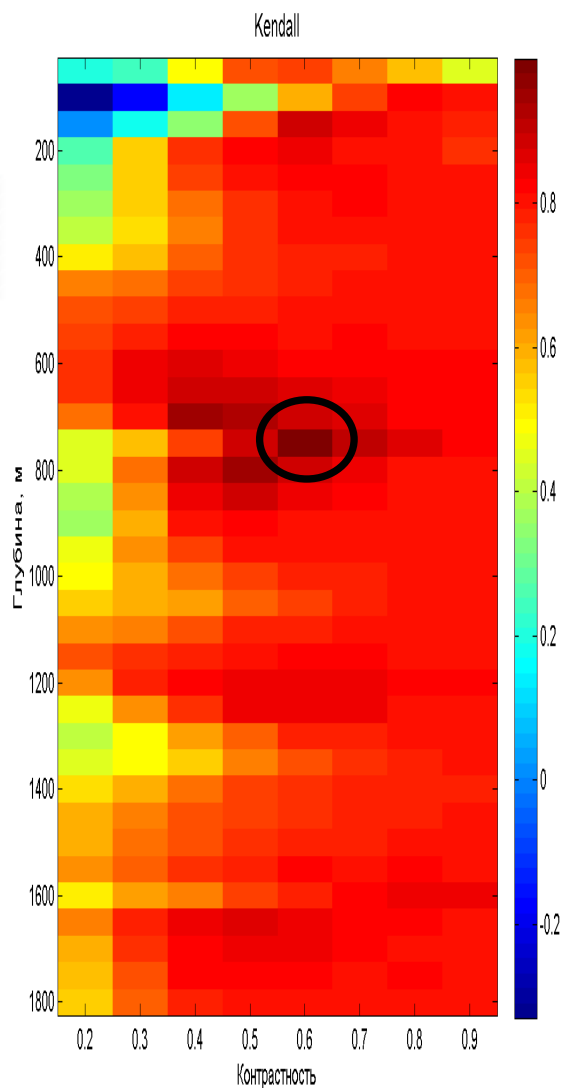
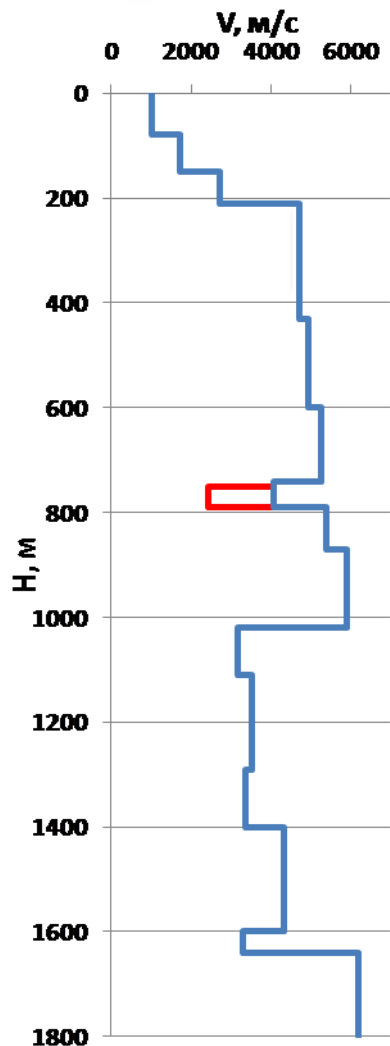
$N=750\text{м}$, $k=0.6$



Эксперимент №2

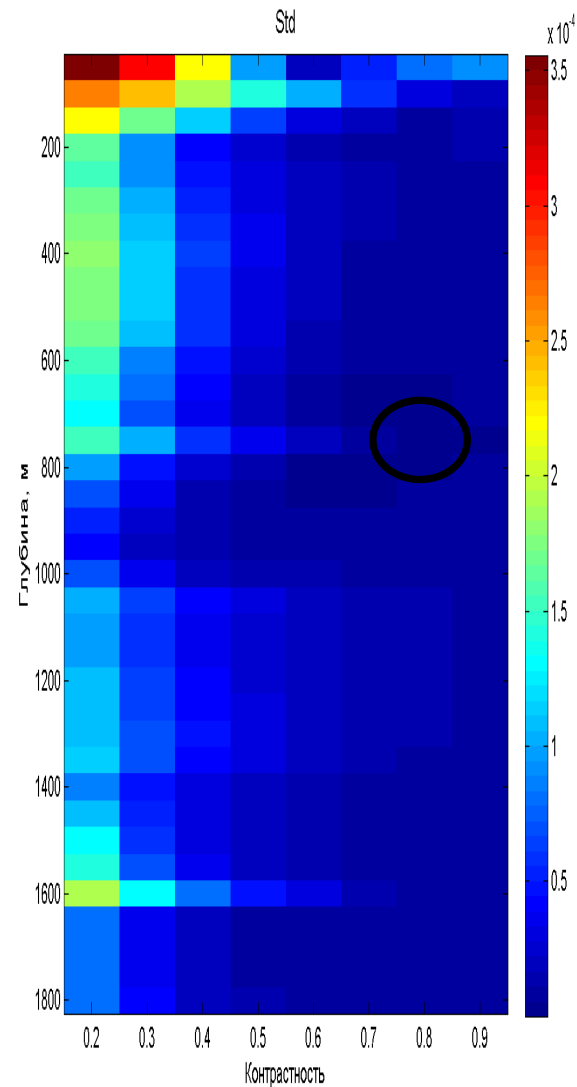
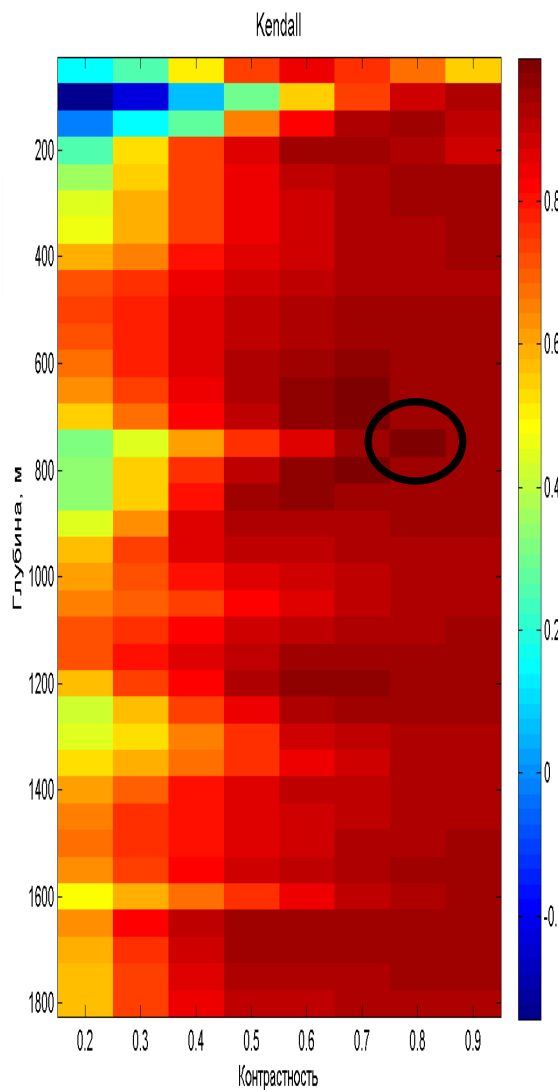
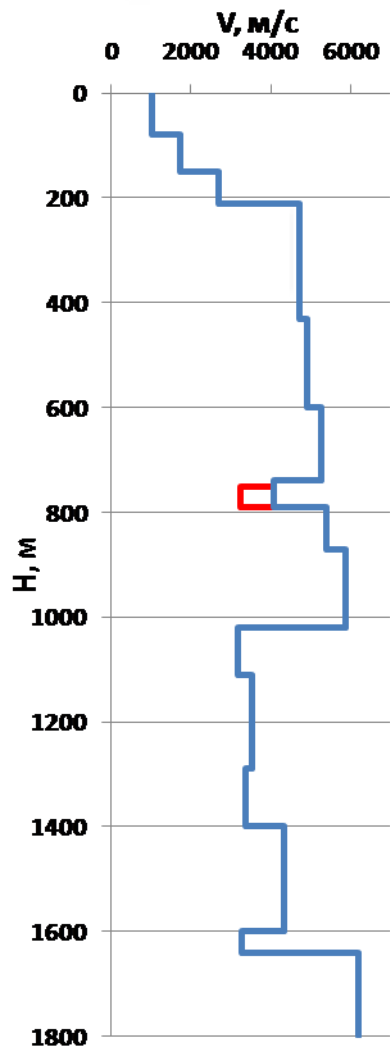
Определение к одной залежи, когда Н не известна

$H=750\text{м}$, $k=0.6$



Эксперимент №2

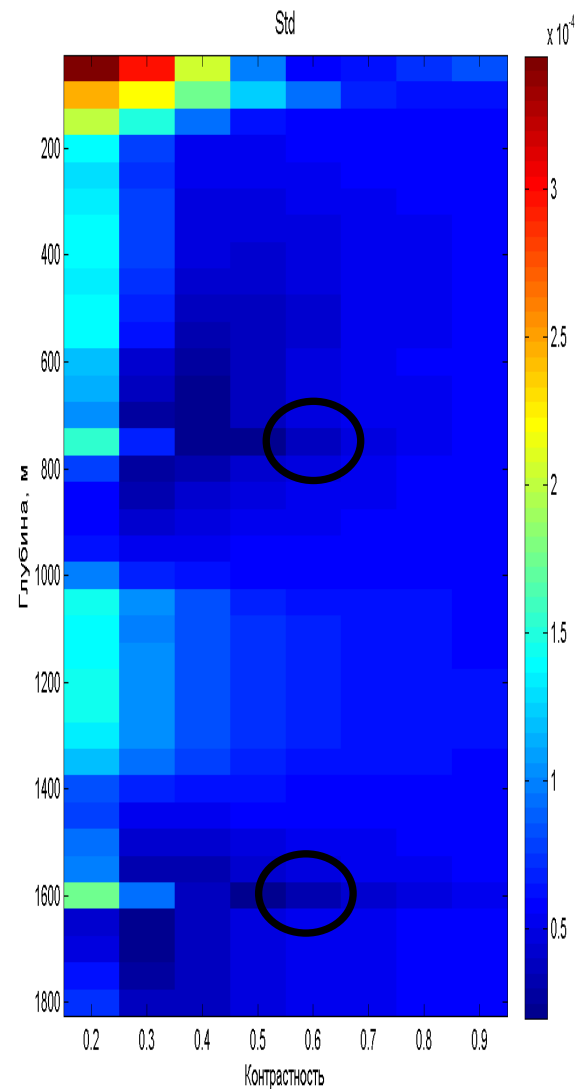
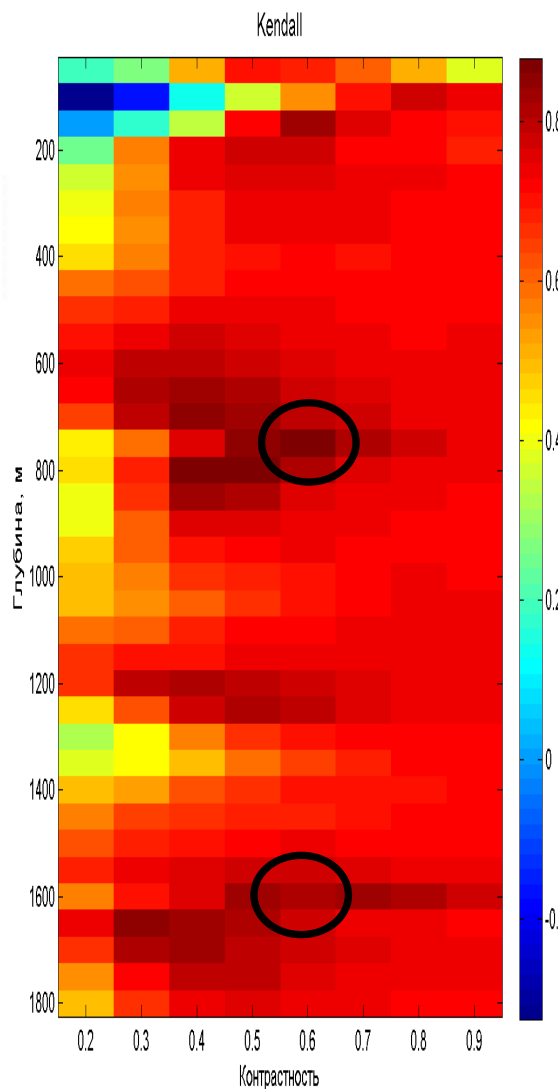
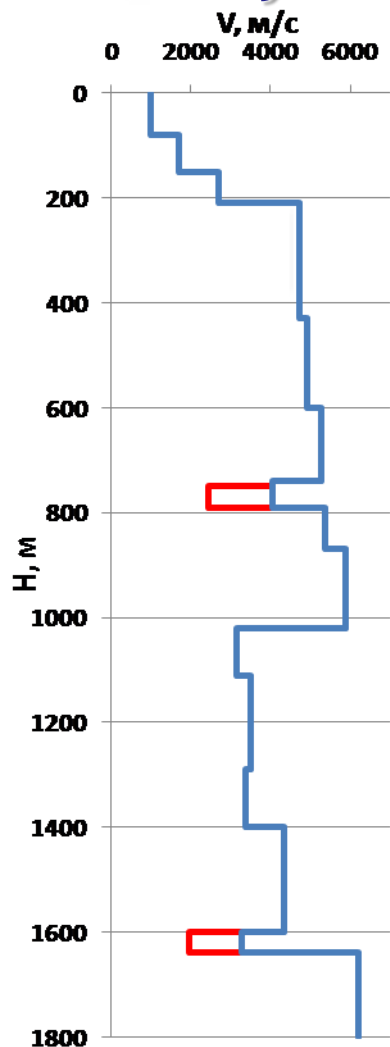
Определение k одной залежи, когда H не известна
 $H=750\text{м}$, $k=0.8$



Эксперимент №3

Определение k двух залежей, когда H не известны

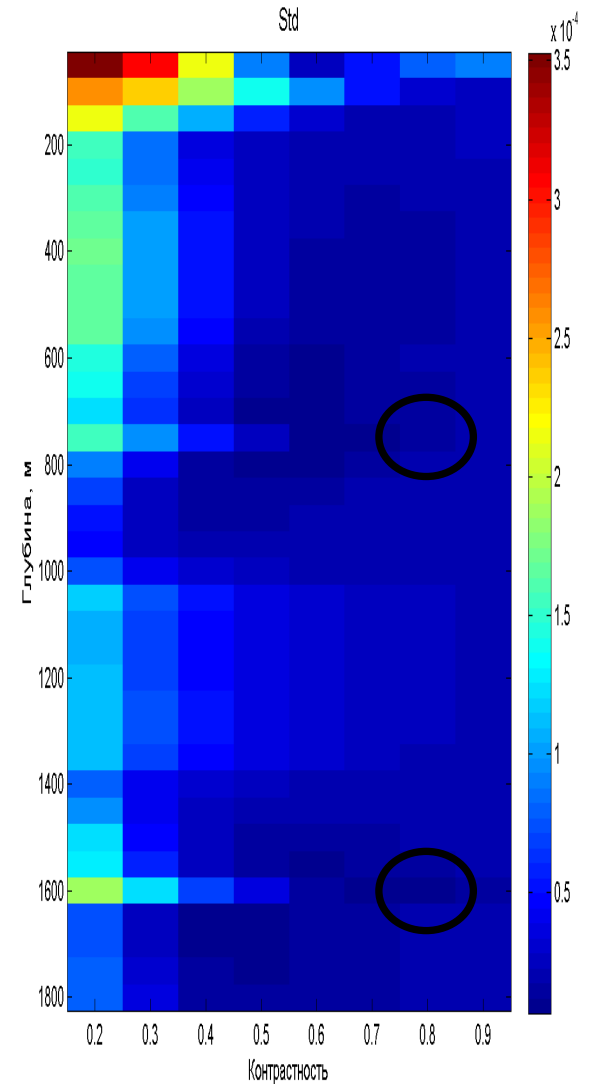
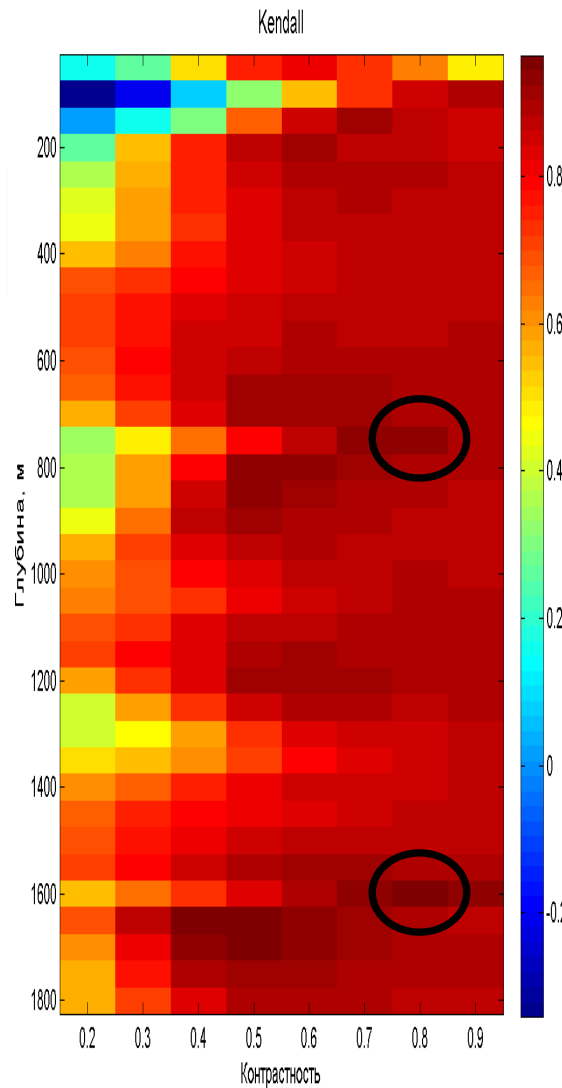
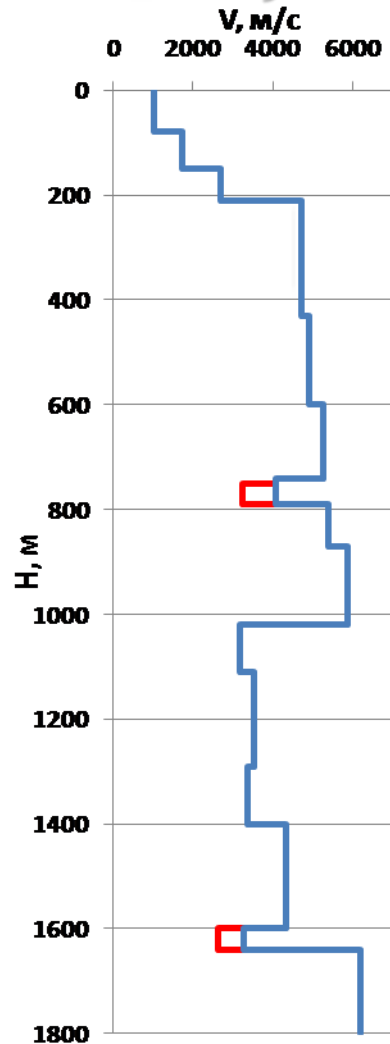
1) $H=750\text{м}$, $k=0.6$, 2) $H=1600\text{м}$, $k=0.6$



Эксперимент №3

Определение k двух залежей, когда H не известны

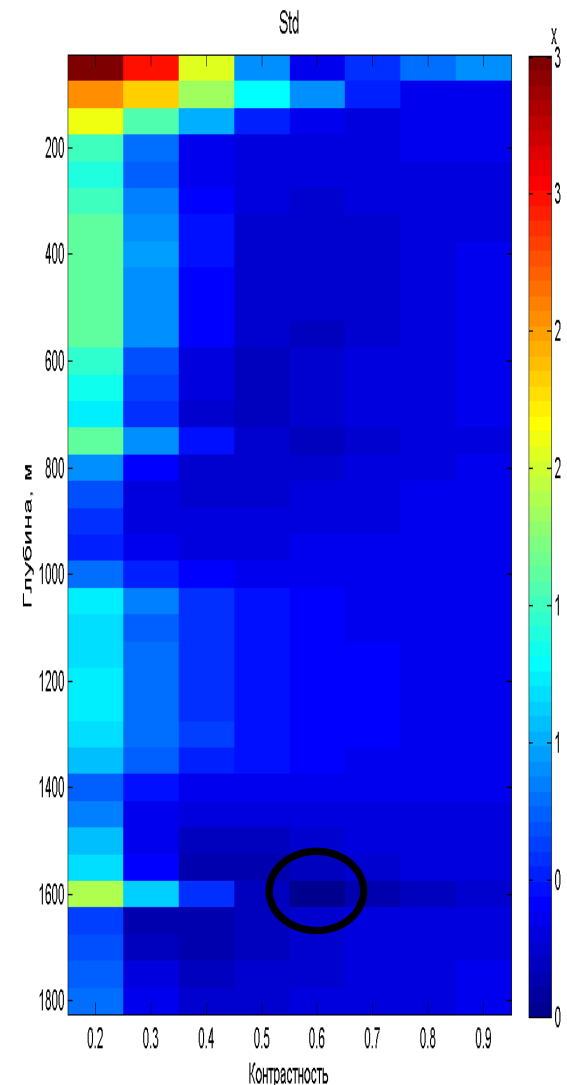
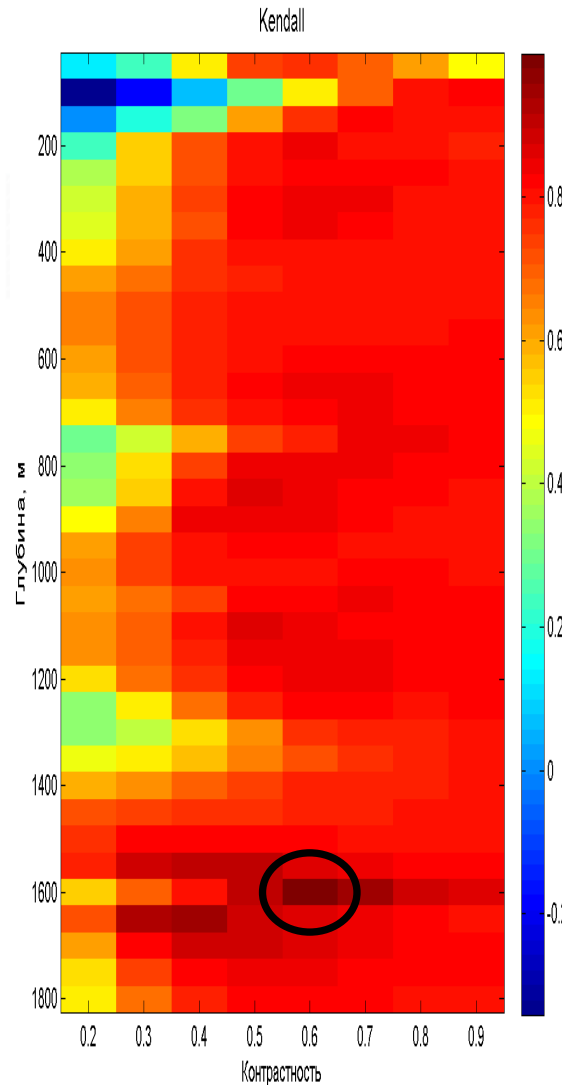
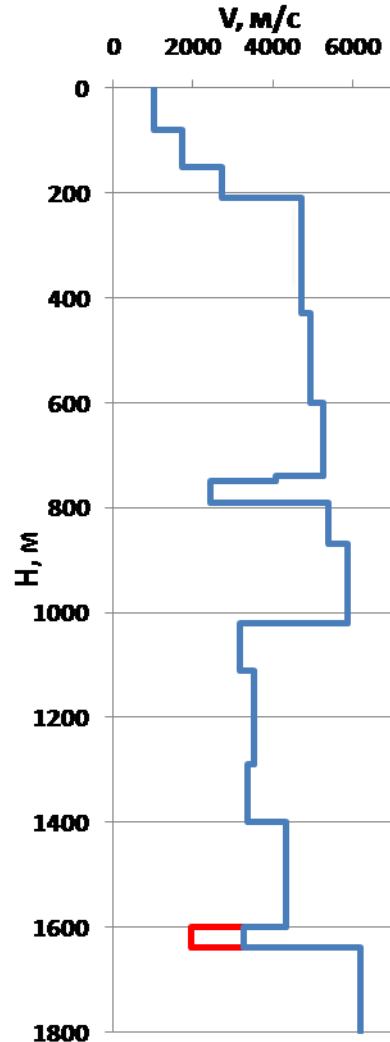
1) $H=750\text{м}$, $k=0.8$, 2) $H=1600\text{м}$, $k=0.8$



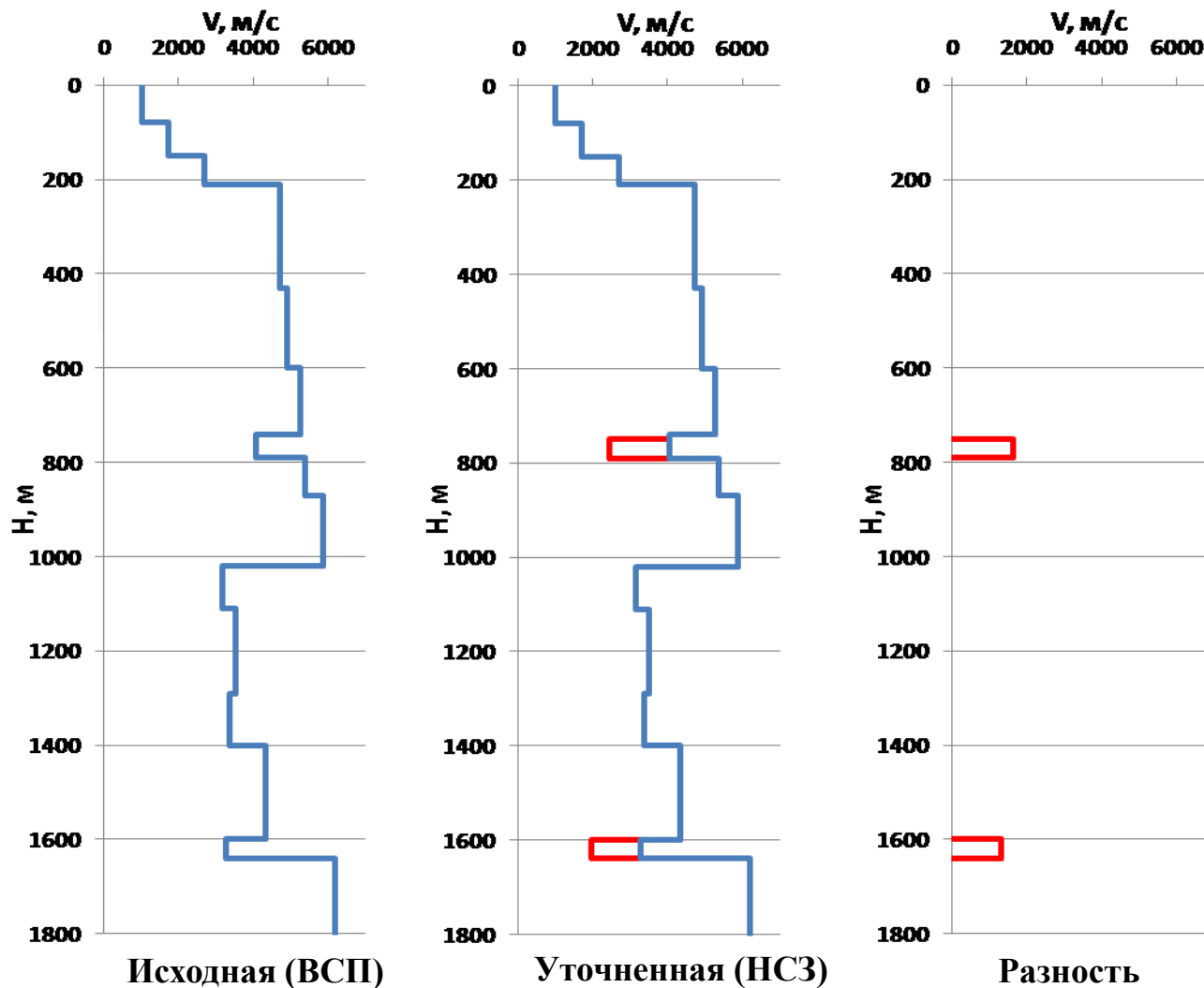
Эксперимент №4

Определение к одной залежи, когда Н не известна

1) $H=750\text{м}$, $k=0.6$ (учтена в разрезе), 2) $H=1600\text{м}$, $k=0.6$



Скоростная характеристика



В случае реальной среды таким образом можно выделить пласты с дисперсией скорости. Эти пласты могут быть ассоциированы с нефтегазовыми коллекторами

Выводы

- 1. Коэффициент корреляции Кендалла наилучшим образом дифференцирует спектральные характеристики по контрастности.*
- 2. Среднеквадратичное отклонение наилучшим образом дифференцирует спектральные характеристики по глубине*
- 3. Была уточнена скоростная модель среды для низкочастотных волн при совместном залегании двух залежей.*
- 4. Создание методики FWI для пассивных данных (НСЗ) принципиально возможно.*

***СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!***