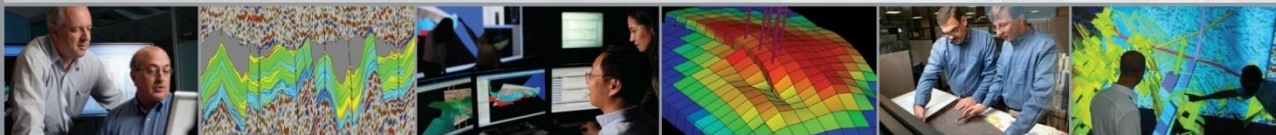


Интегрированный проект по прогнозу зон продуктивности баженовской свиты на основе сейсмических данных

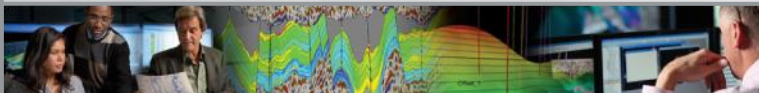
Seismic based integrated project for Bazhenov sweet spot prediction – a case study

Константин Кунин - Schlumberger



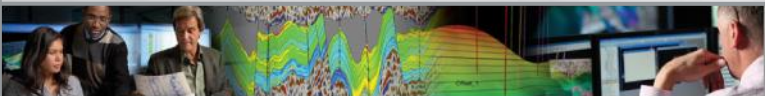
Содержание / Contents

- Реальный проект по прогнозу продуктивности баженовских отложений
 - Bazhenov sweet spot integrated project: a case study
- Прогноз трещиноватости по сейсмическим данным
 - Seismic-based natural fracturing forecast
- Прогноз пористости и литологии по сейсмическим данным
 - Seismic-based lithology and porosity forecast
- Прогноз зон продуктивности и результаты бурения
 - Sweet-spot forecast and results of the drilling



Главная распространенная ашибка The Greatest Mikstake

Баженовская свита –
везде одинаковая
Bazhenov –
is always the same

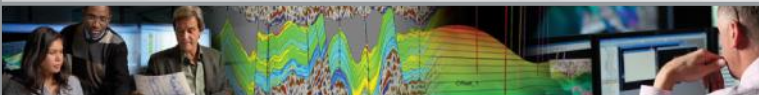


Главная распространенная ошибка

The Greatest Mistake

Баженовская свита –
разная!
везде ~~одинаковая~~

Vazhenov –
different!
is always ~~the same~~



Проект по прогнозу продуктивности баженовской свиты

Bazhenov Sweet-spots Forecast Project: a Case Study

Заказчик не знал механизма нефтеносности: натуральная трещиноватость или пористость. Он хотел увидеть sweet spots. / Customer had no clue – what's a reason for production from Bazhenov

Для трещиноватости / to predict natural fracturing:

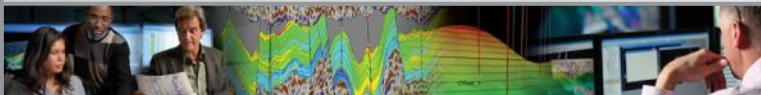
- Миграция дуплексных волн / Duplex Wave Migration
- Азимутальная анизотропия и азимутальная AVA-Az инверсия / Azimuthal anisotropy and azimuthal AVA-Az inversion
- Анализ динамических и геометрических атрибутов / Attribute analysis

Для пористости / to predict pore space:

- Детерминистическая и стохастическая AVA инверсия / deterministic and stochastic seismic inversion

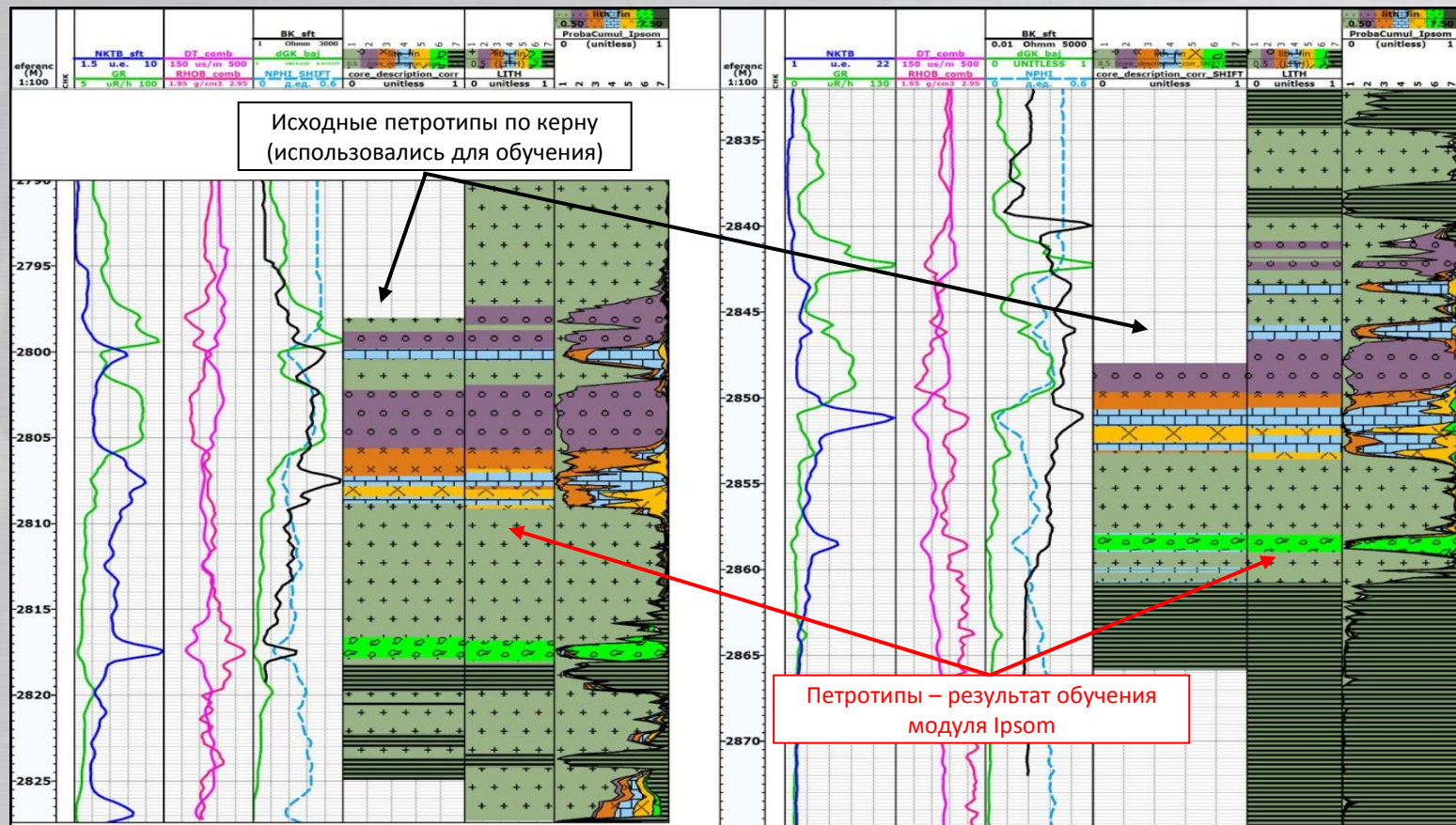
В сочетании с Well Driven Seismic, петрофизикой, геомеханикой, рокфизикой, анализом данных ПГИ, ГДИ, разработки, керна и данных имиджеров. In conjunction with WDS, petrophysics, rock physics, geomechanics, logs, PLT, tests, production, core, imagers.

Все осложнялось нерегулярными данными / Uneven and irregular data

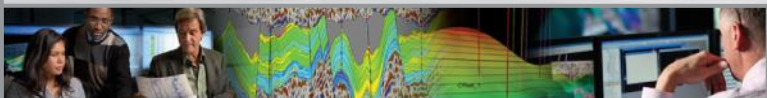


Интерпретация ГИС в баженовских отложениях

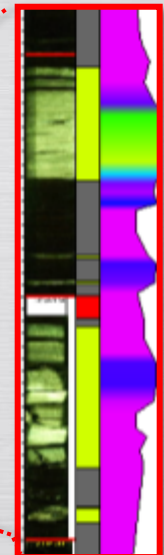
Bazhenov Formation Evaluation



Коды петротипов: 1- породы глинисто-кремнистые; кремнисто-глинистые; карбонатно-глинисто-кремнистые; 2- керогеново-глинисто-кремнистые (с высоким содержанием ОВ); 3- карбонатно-кремнистые доломитизированные породы (доломитизированный радиолярит) или породы с реликтовой биоморфной структурой, нефте- или бутумонасыщенные - коллектор; 4- известняки (плотные прослои); 5- кремнистые породы (радиоляриты), нефтенасыщенные - коллектор; 6- кремнисто-карбонатные породы, трещиноватые, брекчированные – аналог КС₁; 7- глинистые разности пород.



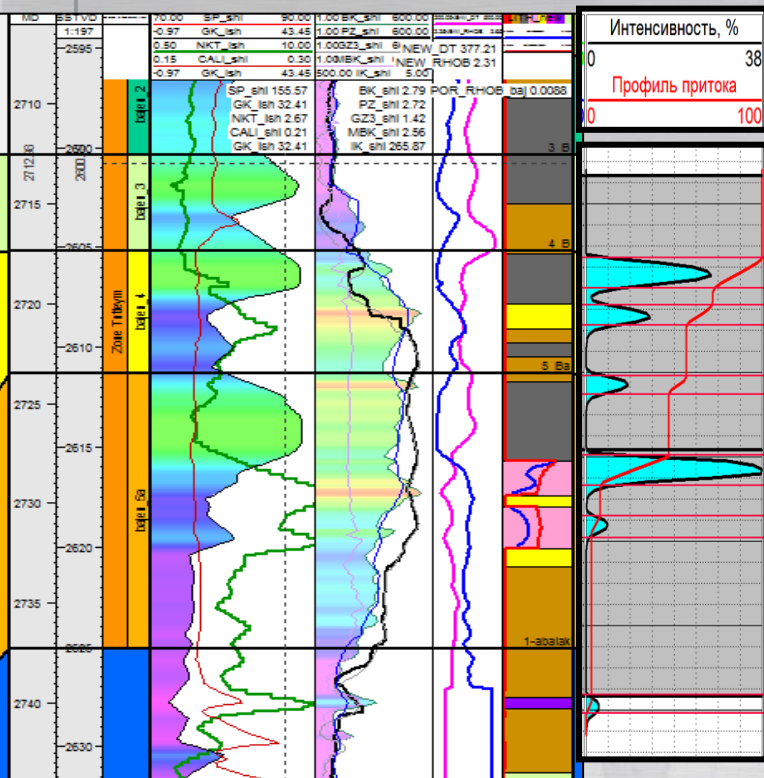
Comparison with Core Data (UV light)



**Литотип «4» – известняк,
не светится, притока нет**



Schlumberger

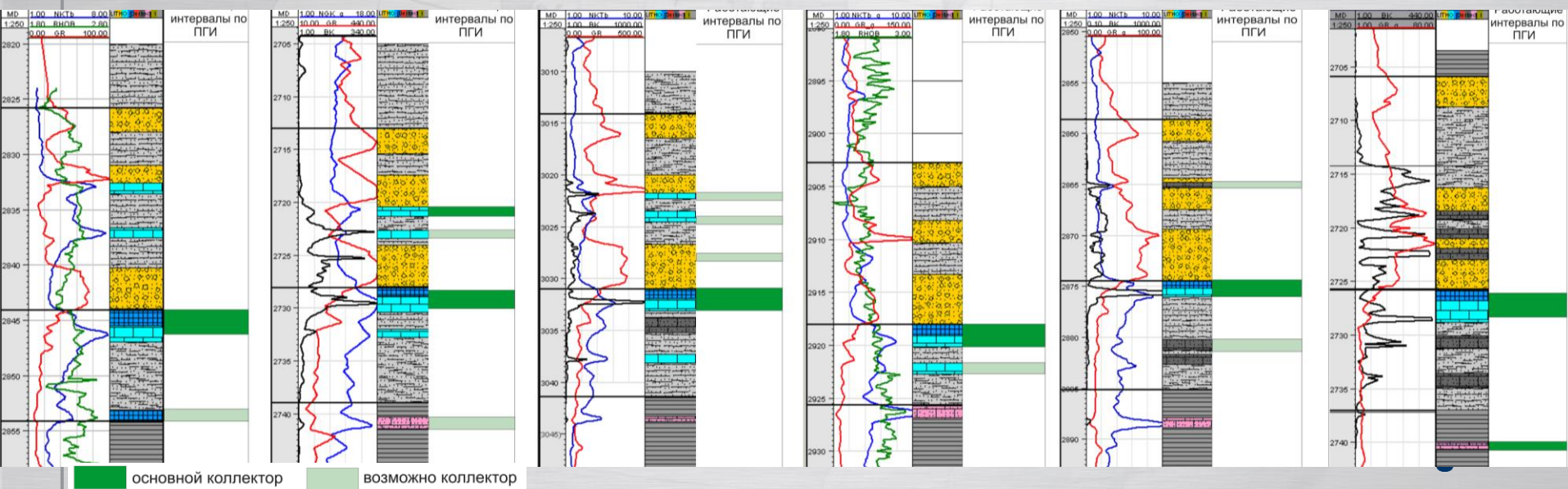


Выделение коллекторов по ПГИ

Reservoirs by PLT

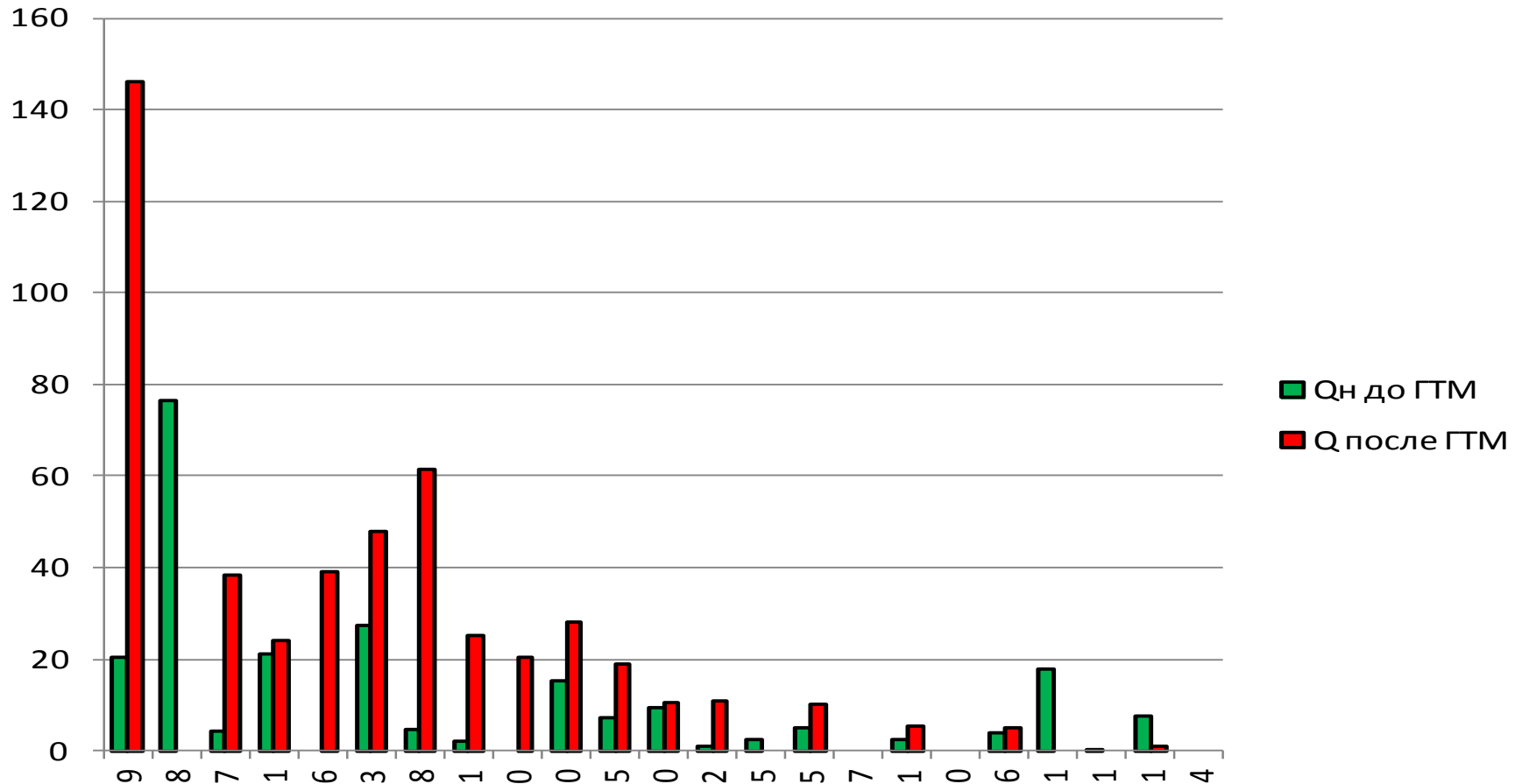
Нефтеотдающим является не весь интервал баженовской свиты, а определенные тонкие прослои пород толщиной 1-3 м

- коллектором могут являться плотные пропластки кремнистых и карбонатно-кремнистых пород в нижней части баженовской свиты (пачка 5Б), которые выделяются в разрезе всех скважин
- реже, продуктивные интервалы выделяются в средней части бажена (пачка 4Б) и верхней части абалака (пласт КС)



Сравнение дебитов нефти до и после ГТМ

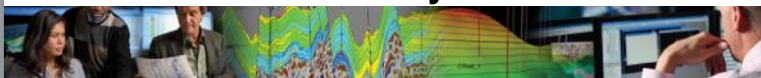
Production before and after treatment



Максимальные притоки из баженовской свиты 30 т/сут (за искл. скв. W) в среднем - 10т/сут

Высокие дебиты в некоторых скважинах достигнуты благодаря успешным ГТМ

Maximum production – 30 tpd (except well W), median – 10 tpd. High inflows in some wells caused by treatments and fracs only.

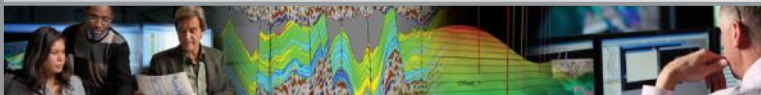
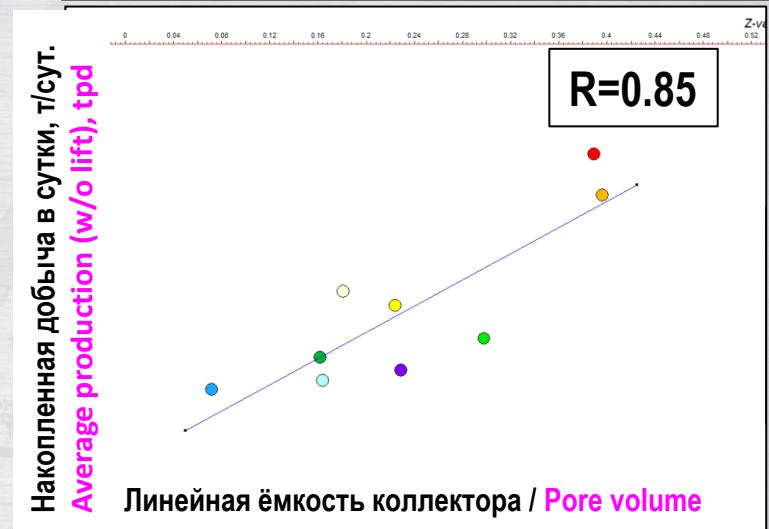
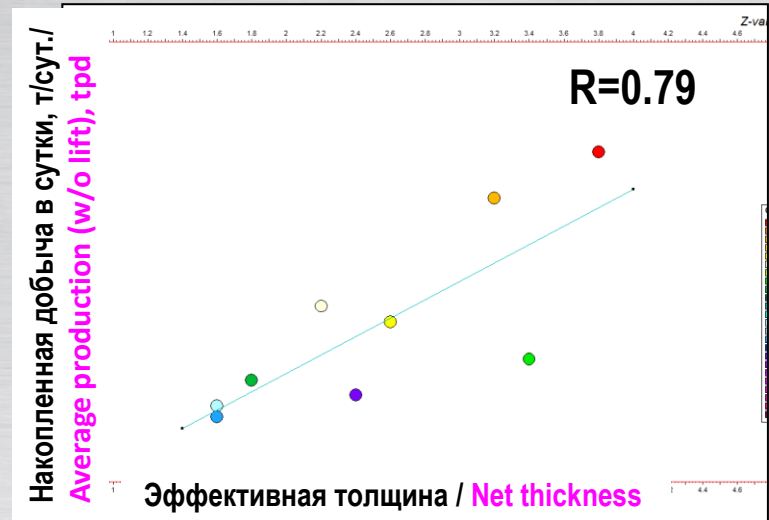
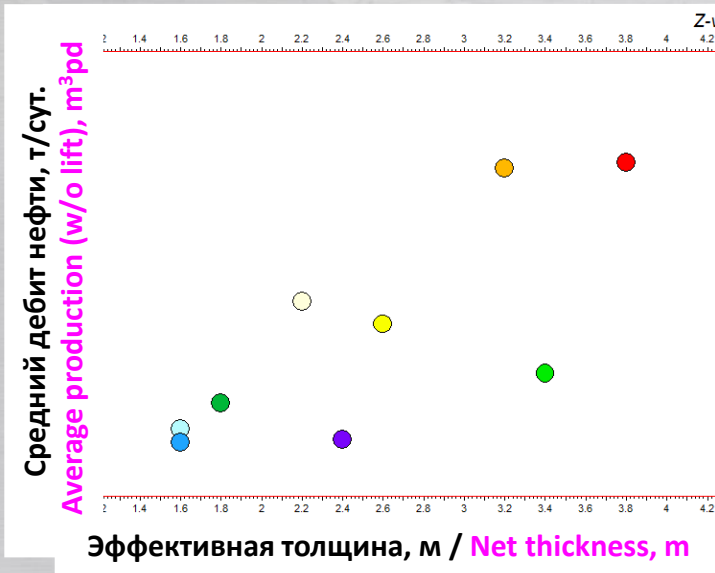


Механизм продуктивности баженовской свиты

Bazhenov production drive

При этом была выявлена закономерность – накопленная добыча и средний дебит (на фонтане) в сутки прямо пропорциональны толщине коллектора и линейной емкости.

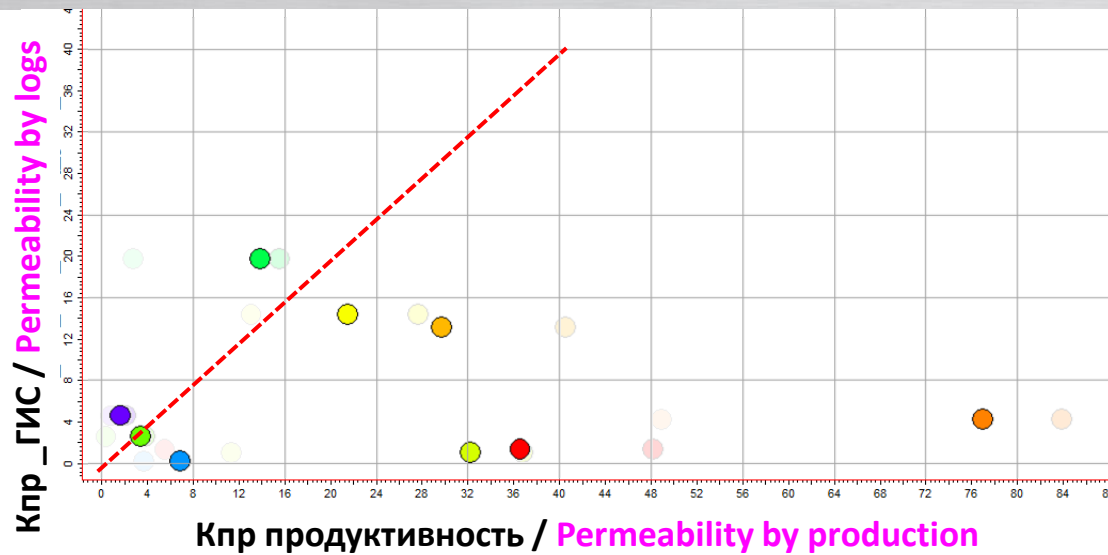
Поэтому для выявления sweet spots нам надо было спрогнозировать как мощность коллектора, так и трещиноватость.



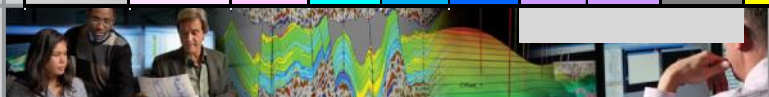
Механизм продуктивности баженовской свиты

Bazhenov production drive

У большинства скважин проницаемость, определенная по ГИС сопоставима с проницаемостью, определенной по ПГИ. Однако, несколько скважин показывают намного большую проницаемость по ПГИ, чем по ГИС – доказательство работы трещиноватого коллектора



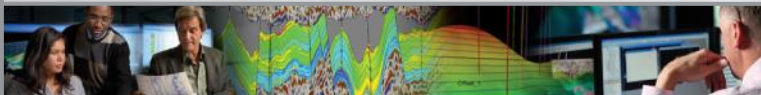
Скв.	Кпр по данным ГИС, %		Продуктивность, м3/(сут*Атм)			Нэфф_ГИС м		Нэфф ПГИ, м	kh, мд*м (индекс продуктивности)			ГТМ	Проницаемость из продуктивности скважин, мд								
	ср. арифм.	макс.	Min	Aver	Max	3+5	3+4+5		S=2	S=0	S=-2		если раб. колл.	если раб. плотн.	по ПГИ	если раб. колл.	если раб. плотн.	по ПГИ	если раб. колл.	если раб. плотн.	по ПГИ
А	1.3	16.1	0.12	1.00	1.8	3.8	6.6	4.8	21	139	183	ГРП, ГКО	5.6	3.2	4.4	36.7	21.1	29.1	48	28	38
Б	13.1	53.2	0.67	0.85	1.6	4	7.4		119	119	162	ГКО	29.7	16.1	-	29.6	16.0	-	41	22	-
В	1.0	2.8	0.14	0.51	0.8	2.2	4.2		25	71	81	СКО	11.3	5.9	-	32.3	16.9	-	37	19	-
Г	14.4	164.6	0.19	0.40	0.71	2.6	3.4		34	56	72	ГКО	13.0	9.9	-	21.5	16.4	-	28	21	-
Д	19.7	165.9	0.03	0.18	0.28	1.8	5.2	1.2	5	25	28	СКО, ГКО	3.0	1.0	4.4	13.9	4.8	20.9	16	5	24
Е	2.6	36.1	0.01	0.12	0.19	5	6.6	5.19	2	17	19	ГРП, ГКО	0.4	0.3	0.3	3.3	2.5	3.2	4	3	4
Ж	0.2	1.3	0.034	0.08	0.11	1.6	5.2		6	11	11	ГРП, СКО	3.8	1.2	-	7.0	2.1	-	7	2	-
З	4.6	10.9	0.01	0.03	0.05	2.4	4.6		2	4	5	ГРП, ГКО	0.7	0.4	-	1.7	0.9	-	2	1	-
И	3.3	26.0	0	0.00	0	3.6	5.6		0	0	0	нет	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0	0	-
К	4.2	16.5	1.27	2.54	3.8	4.6	8.6		225	354	386	ГКО	49.0	26.2		76.9	41.1		84	45	



Что можно извлечь из сейсмики?

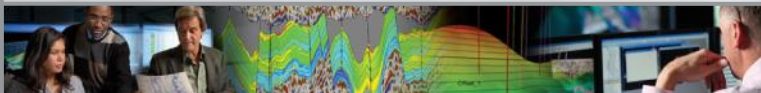
What can be derived from seismic?

- Изображение недр <= Обработка & интерпретация
 - Subsurface Image <= Processing & Interpretation
- Упругие свойства <= Инверсия
 - Elastic properties <= Inversion
- Скорости <= Обработка & Инверсия
 - Velocities <= Processing & Inversion
- 4Д разница <= Обработка & Интерпретация
 - Time lapse difference <= Processing & Interpretation
- Анизотропия <= Обработка & Интерпретация
 - Anizotropy <= Processing & Interpretation
- Эффекты вязкости <= Обработка & Интерпретация
 - Viscousity <= <= Processing & Interpretation

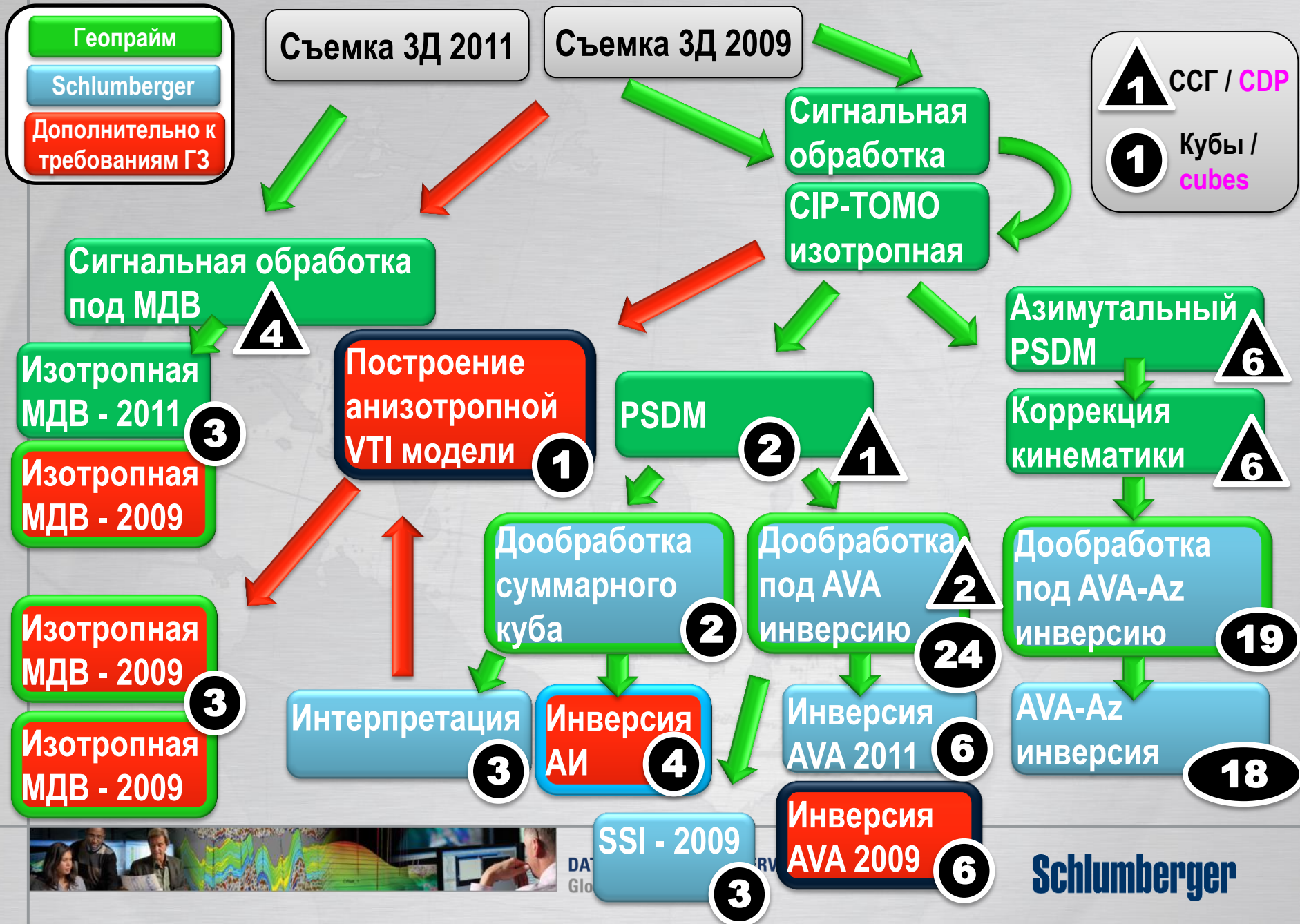


Содержание / Contents

- Реальный проект по прогнозу продуктивности баженовских отложений
 - Bazhenov sweet spot integrated project: a case study
- Прогноз трещиноватости по сейсмическим данным
 - Seismic-based natural fracturing forecast
- Прогноз пористости и литологии по сейсмическим данным
 - Seismic-based lithology and porosity forecast
- Прогноз зон продуктивности и результаты бурения
 - Sweet-spot forecast and results of the drilling



Well Driven Seismic - схема движения данных / Data Flow



Компания 1 / Contractor 1

Компания 2/ Contractor 2

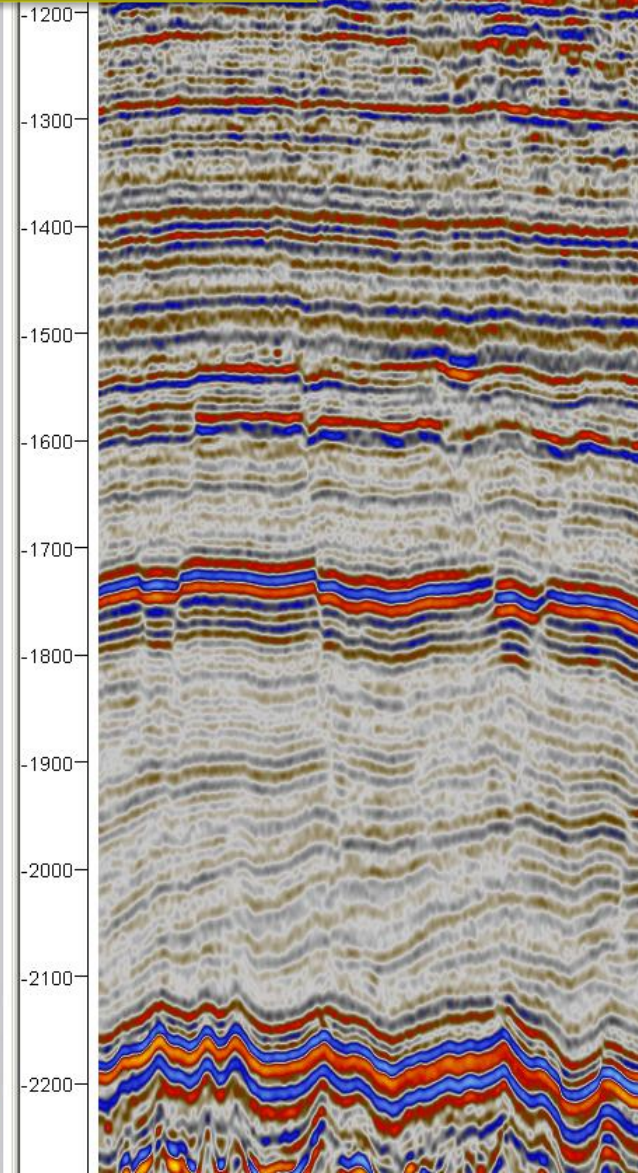
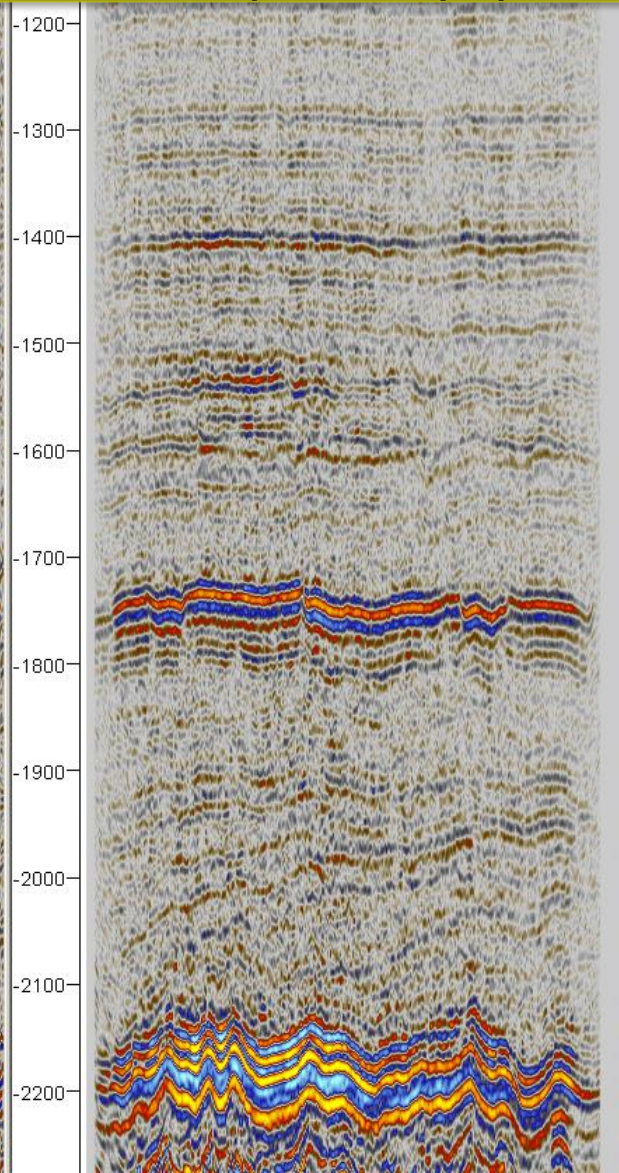
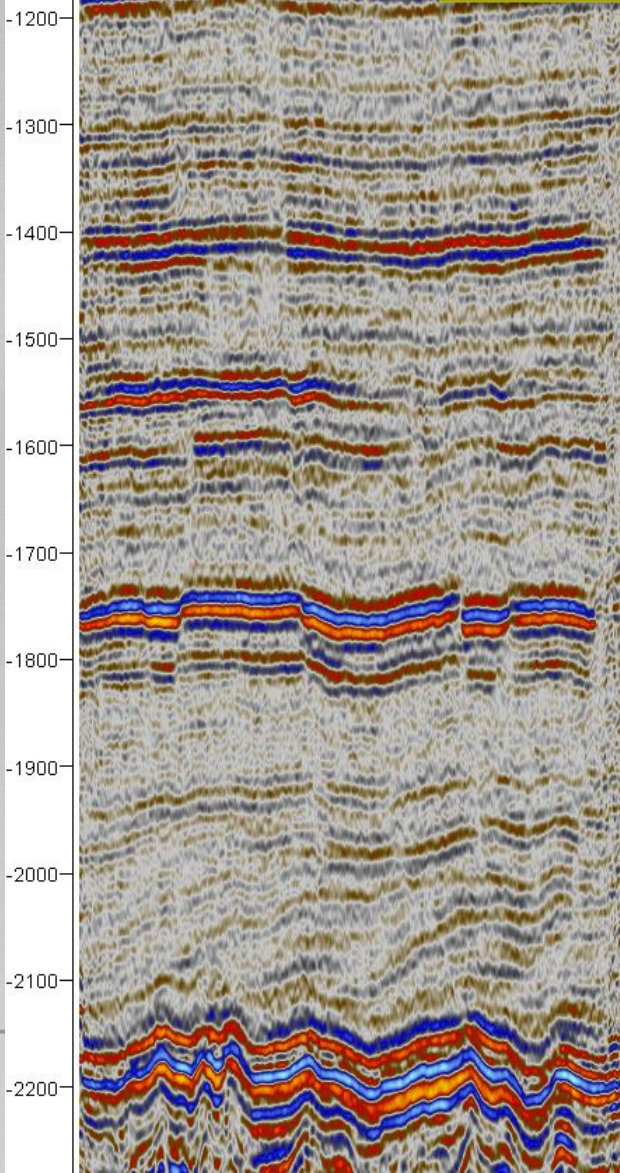
Geoprime + Slb

General intersection [2D converted] 1 Composite line 4
XLine 1740 Inline 102 XLine 1949 Composite line 3
IL 1 101 200 300 400
XL 120 120 120 120 120

General intersection [2D converted] 1 XLine 2010
XLine 1740 Inline 102 XLine 1949 Composite line 3
IL 120 120 120 120 120
XL 1 101 200 300 400

Inline 102 XLine 1949 Composite line 1
General intersection [2D converted] 1 XLine 1949 Composite line 3
IL 5172 5172 5172 5172 5172
XL 1798 1878 1958 2038 2118

Окончательные временные разрезы / Final stacks

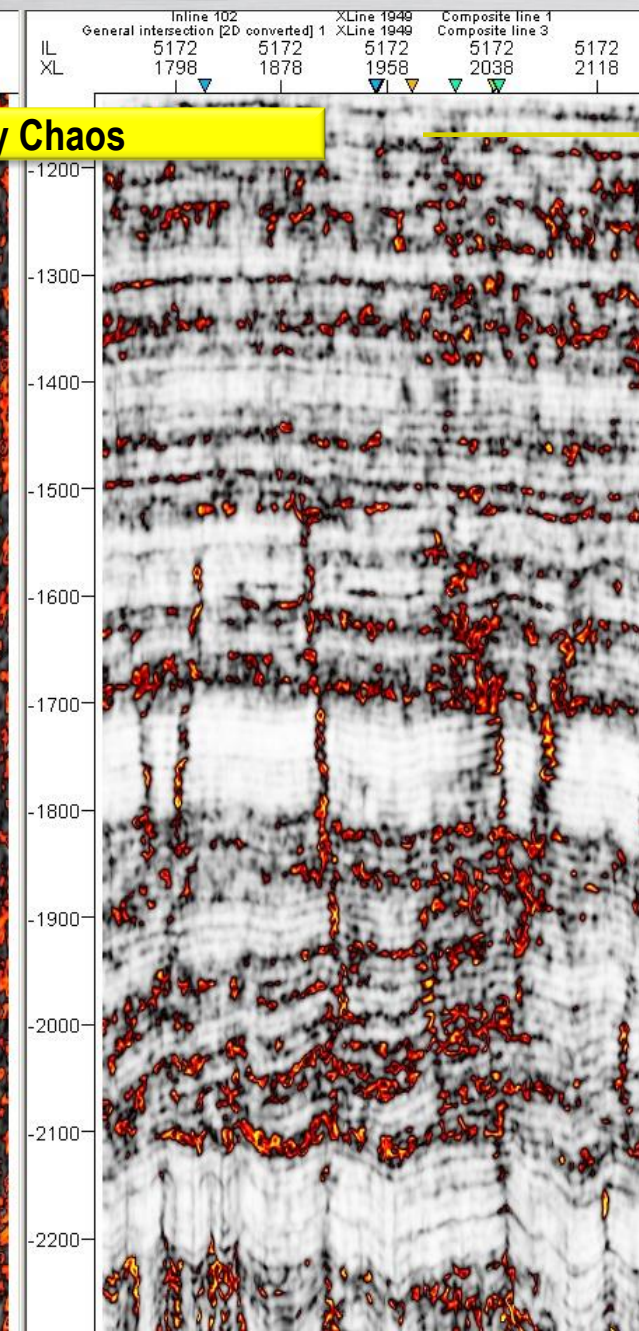
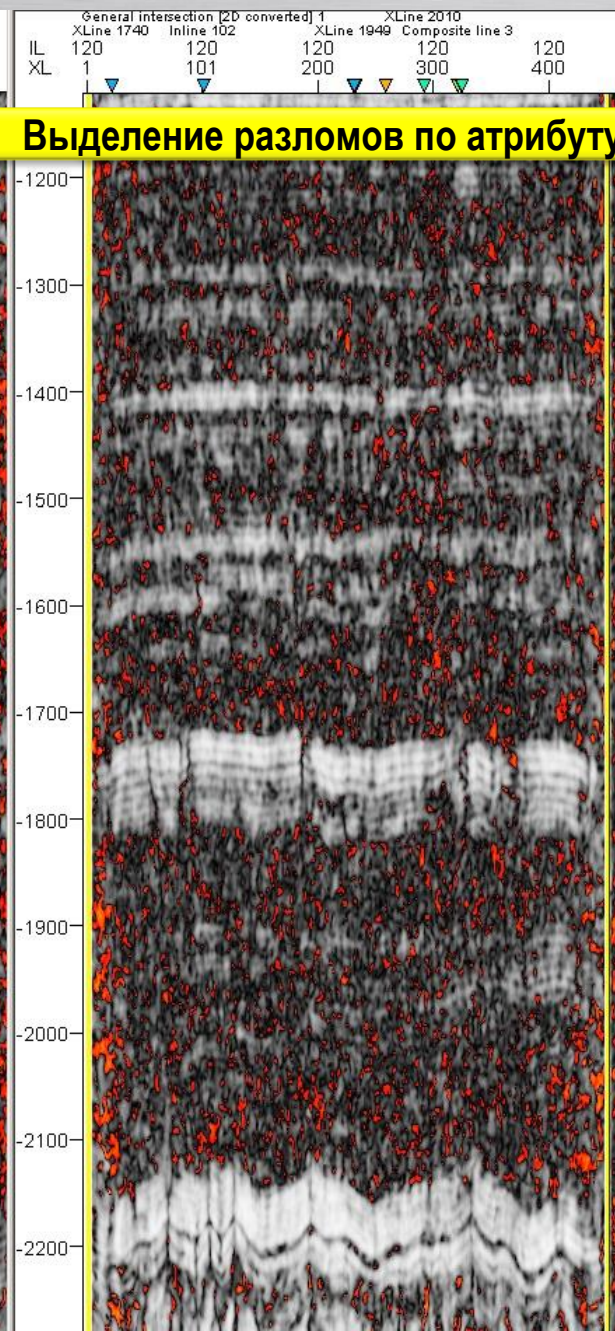
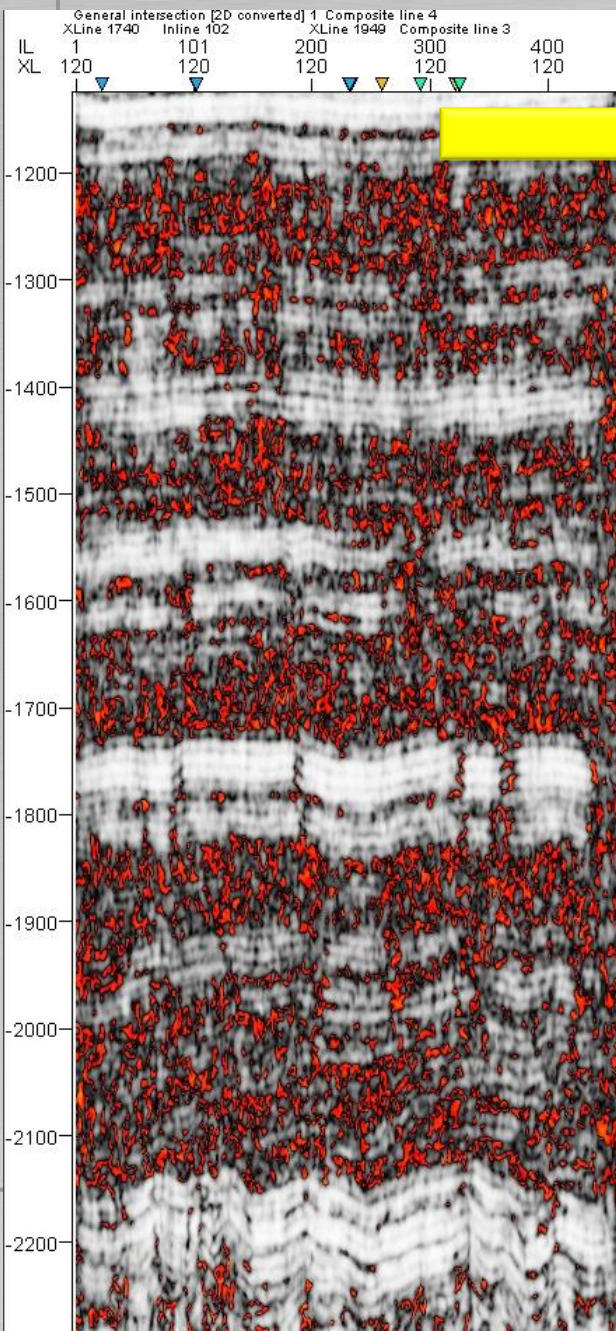


Компания 1 / Contractor 1

Компания 2/ Contractor 2

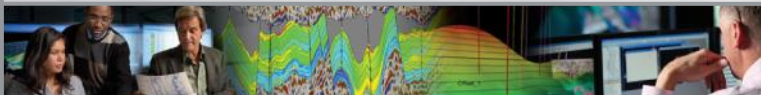
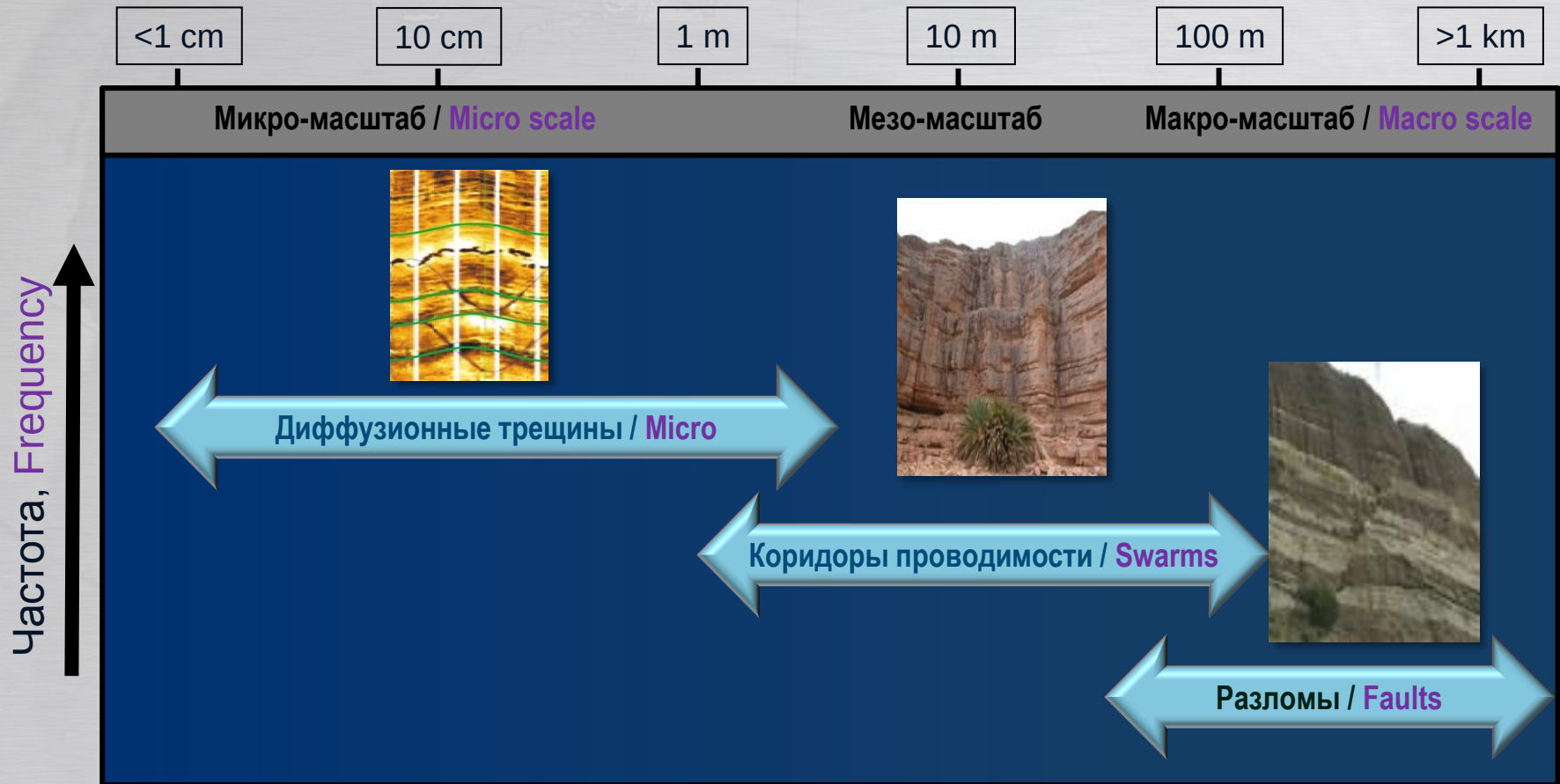
Geoprime + Slb

Выделение разломов по атрибуту Chaos



Трещиноватый коллектор: Различные масштабы

Natural Fractures: Different Scales

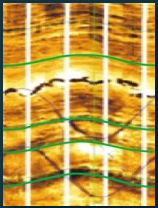


Характеристика трещин: от сейсмики к гидродинамике

Fracture Characterization: from Seismic to RE

Геологические особенности Geological Features

Микро-масштаб



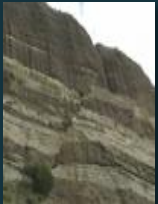
Диффузио
нные
трещины

Мезо-масштаб

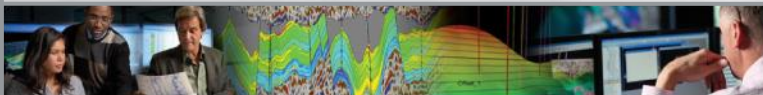
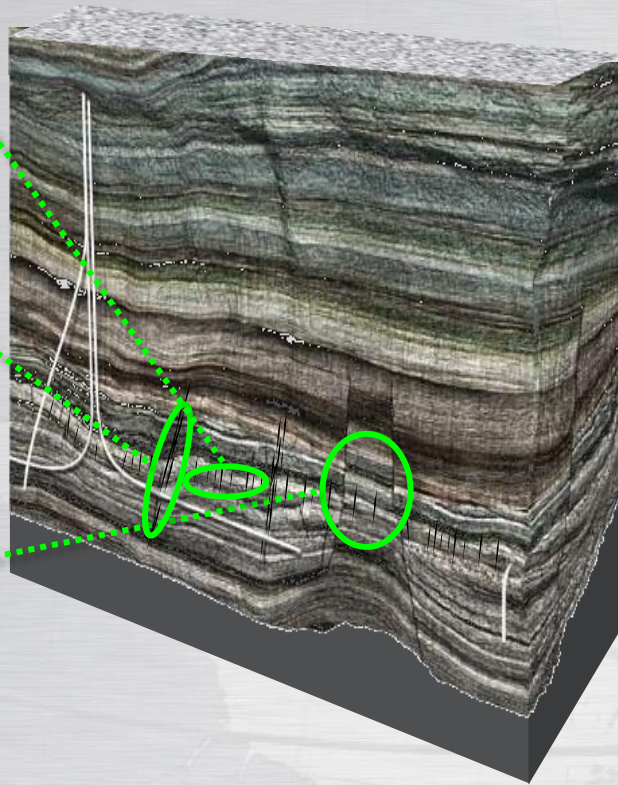


Трещины
миграции

Макро-масштаб



Разломы



DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

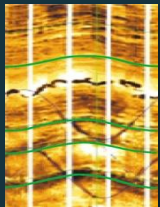
Schlumberger

Характеристика трещин: от сейсмики к гидродинамике

Fracture Characterization: from Seismic to RE

Геологические особенности Geological Features

Микро-масштаб



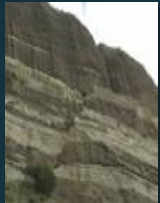
Диффузио
нные
трещины

Мезо-масштаб

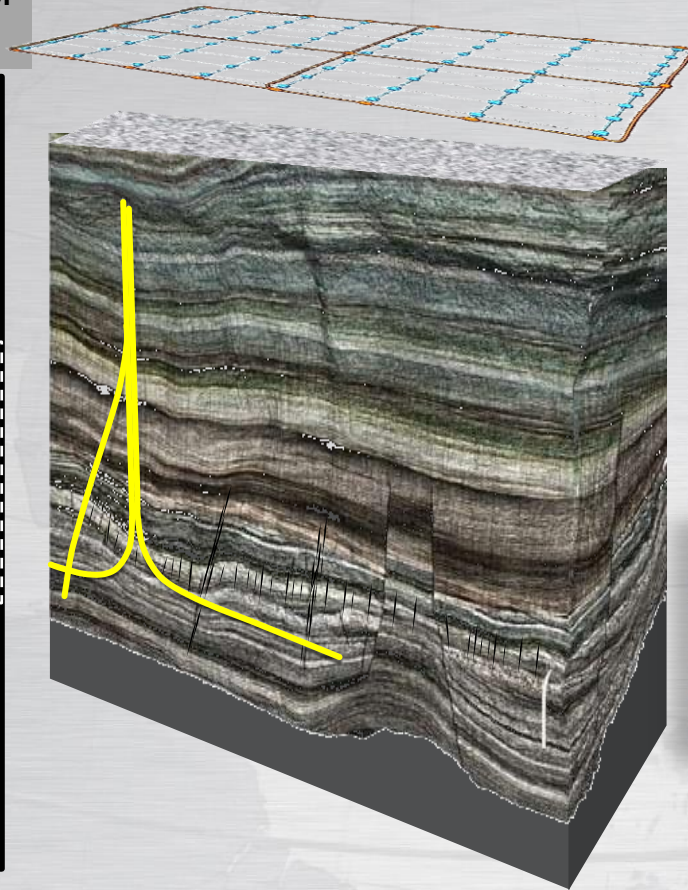


Трещины
миграции

Макро-масштаб



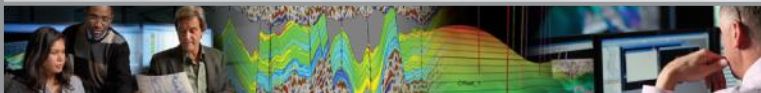
Разломы



- Наземная сейсмика 3-D
- Восстановление напряжений
- Микро-сигнал
- Результаты наблюдений обнажений горных пород
- ВСП
- Образцы керна



PLTs



DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

Schlumberger

Характеристика трещин: от сейсмики к гидродинамике

Fracture Characterization: from Seismic to RE

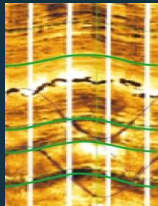
Геологические
особенности

Сейсмические
наблюдения

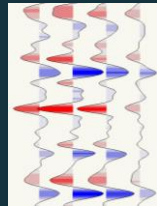
Анализ данных

Представление
моделей

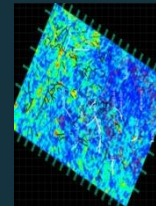
Микро-масштаб



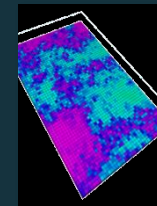
Диффузионные
трещины



Сейсмическая
анизотропия



Анализ
анизотропии &
Инверсия

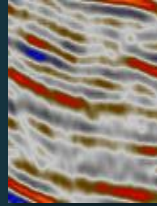


Модель
трещин / DFN

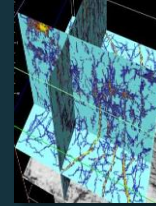
Мезо-масштаб



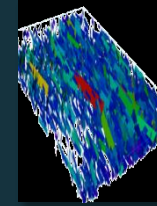
Трещины
миграции



Слабо
различные
неоднородности



Картирование
кластеров трещин

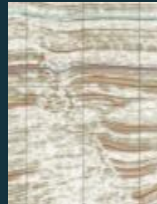


Система
трещин

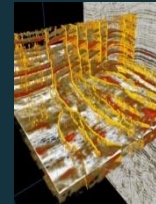
Макро-масштаб



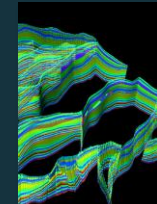
Разломы



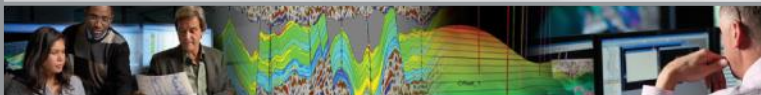
Разрывные
нарушения



Ant Tracking,
Проводимость
разломов



Структурные
разломы



DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

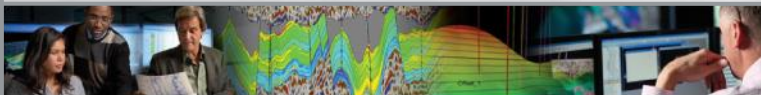
Schlumberger

Специальная обработка для трещиноватости

Special Processing for Fracture Forecast

Предлагаемые типы обработки (совместно с компанией Геопрайм):

1. **P-wave Anisotropy** - разделение и обработка данных азимутальных групп с дальнейшим анализом скоростных и амплитудных азимутальных неоднородностей (Fractogram) и/или азимутальная инверсия Шлюмберже.
2. **3C/4C Seismic** - Обработка многокомпонентных съемок с анализом поперечной волны.
3. **Выделение нерегулярной составляющей (Diffusion)** поля, обработка и получение данных рассеянной компоненты.
4. **Дуплексная миграция волнового поля (Duplex Wave Migration)** – направлена на получение информации о вертикальных границах



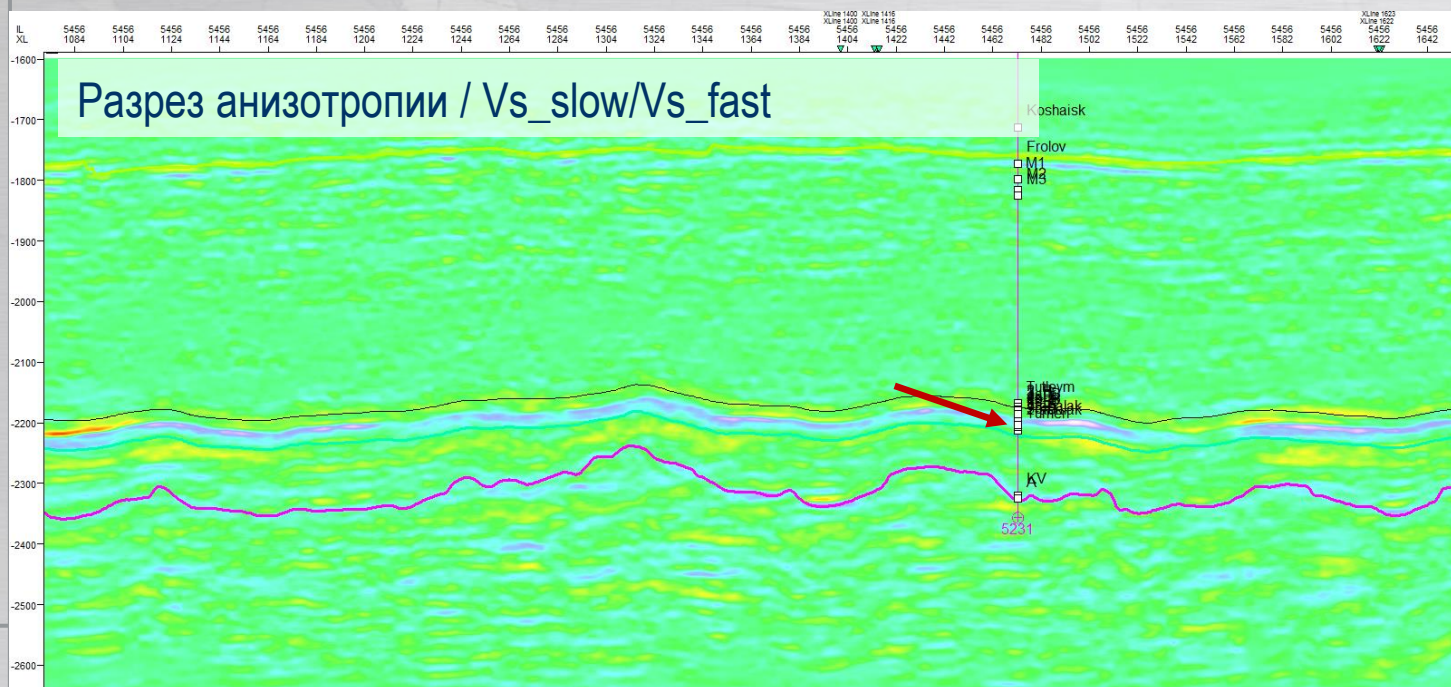
Обработка для трещиноватости 1: Азимутальная AVA-Az инверсия Seismic processing for fracturing 1: Azimuthal AVO-Az Inversion

Требует корректно выполненной широкоазимутальной сейсмической съемки, соответствующей обработки, скважин с данными SonicScanner или FMI.

Required accurate wide-azimuth seismic with point receivers and wells with FMI and SonicScanner

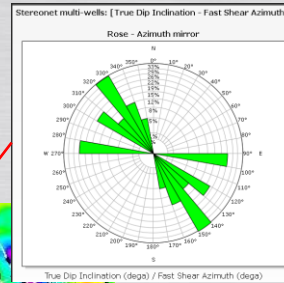
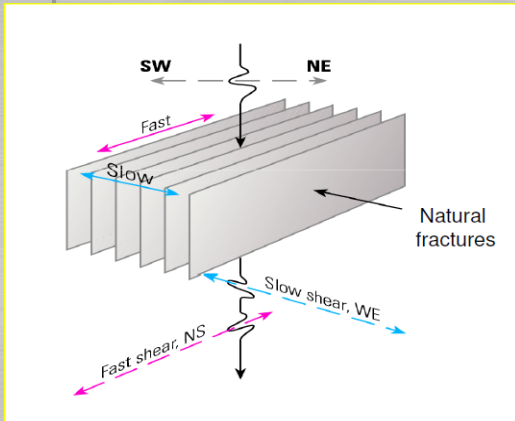
Стратиграфический слайс по кубу анизотропии скоростей / Vs slow/fast anisotropy

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

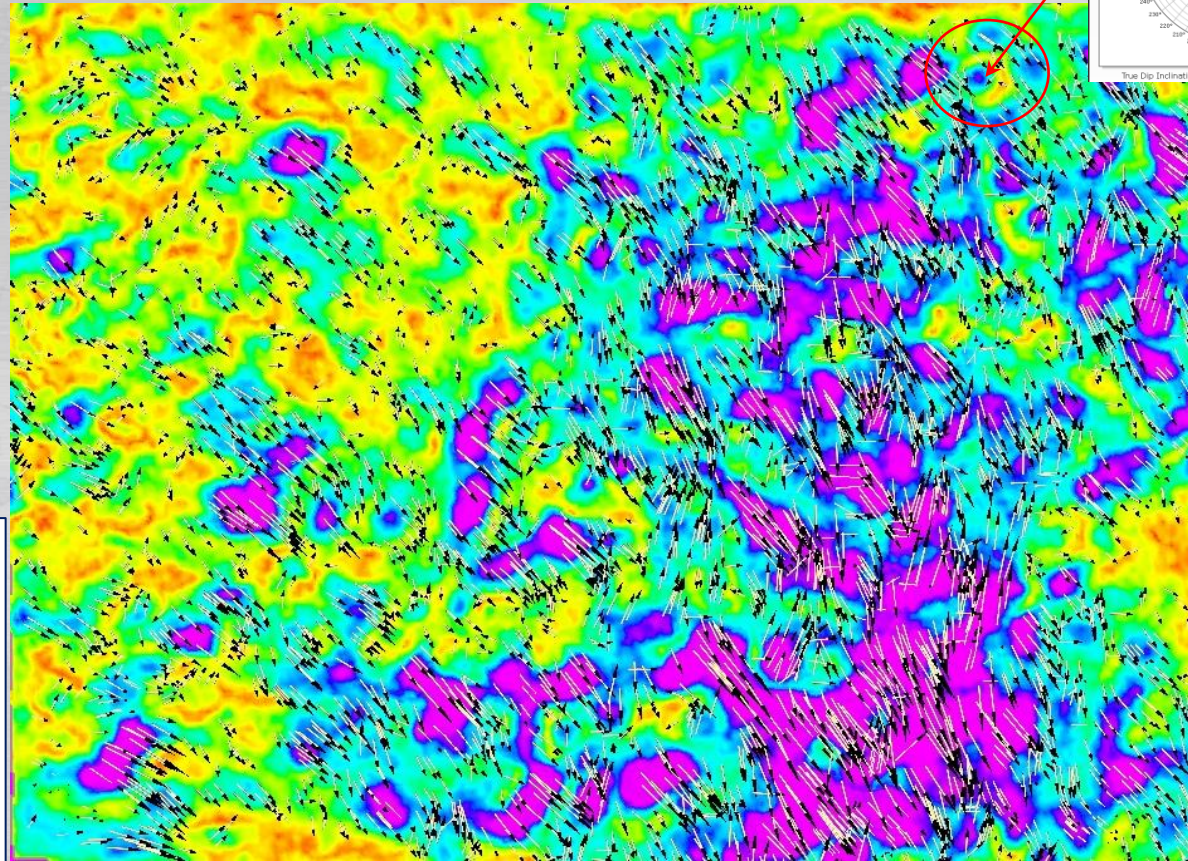


Анизотропия по синхронной AVA-Az инверсии

Anisotropy by simultaneous AVA-Az inversion



Borehole measured fast shear azimuth



Slow / Fast
Shear Ratio

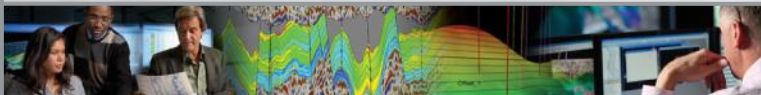
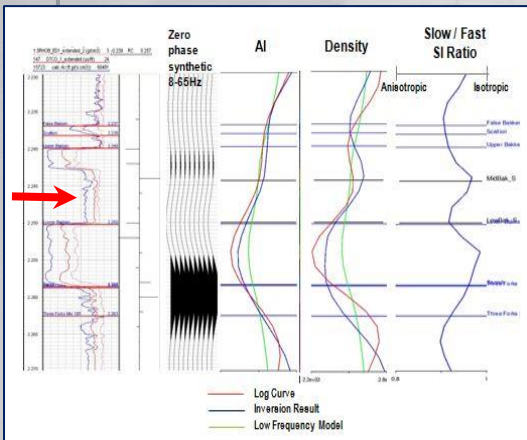
0.8
Anisotropic

1.0
Isotropic

Fast Shear Azimuth



Adapted from Figure - Johnson, G., Miller, P., 2013. Advanced Imaging and Inversion for unconventional resource plays, First Break – Volume 31 - Issue 7 - July 2013. (EAGE)

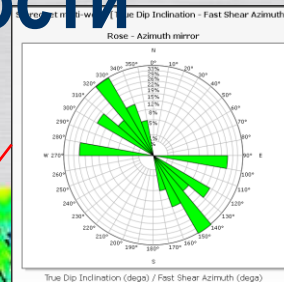
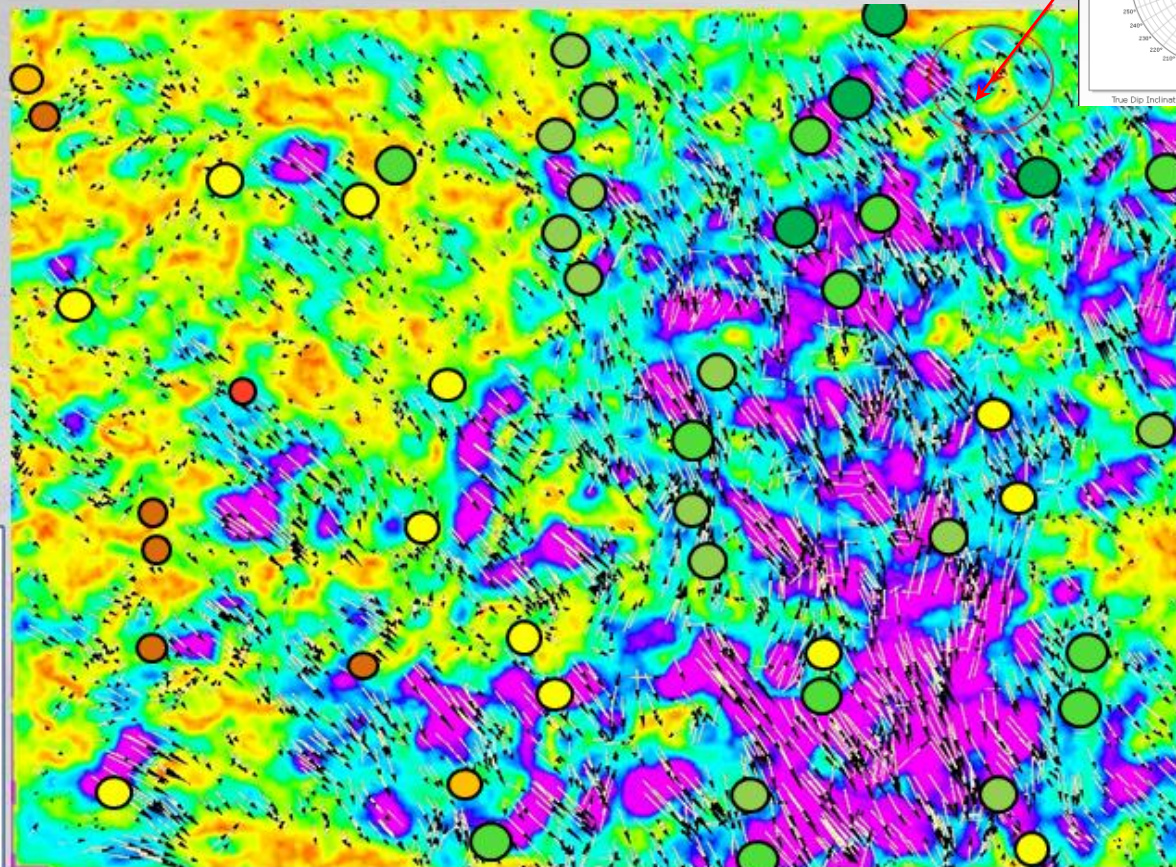
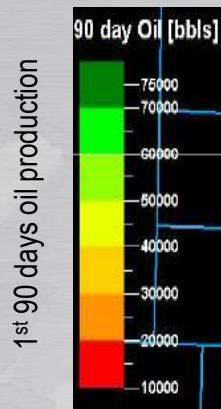


DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

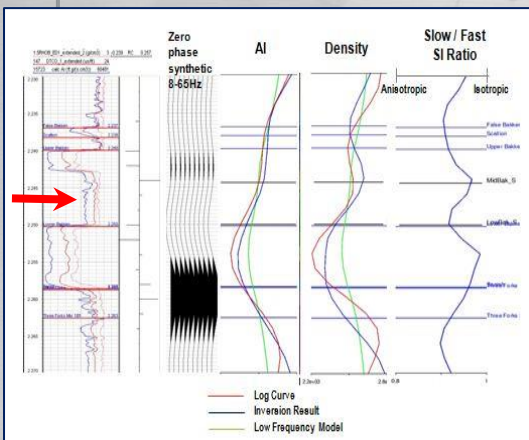
Schlumberger

Сопоставление анизотропии и продуктивности

Anisotropy vs Productivity



Borehole measured fast shear azimuth



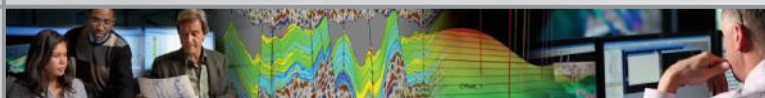
Slow / Fast Shear Ratio

0.8
Anisotropic

1.0
Isotropic

Fast Shear Azimuth

Adapted from Figure - Johnson, G., Miller, P., 2013. Advanced Imaging and Inversion for unconventional resource plays, First Break – Volume 31 - Issue 7 - July 2013. (EAGE)



DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

Schlumberger

Обработка для трещиноватости 3: нерегулярная составляющая

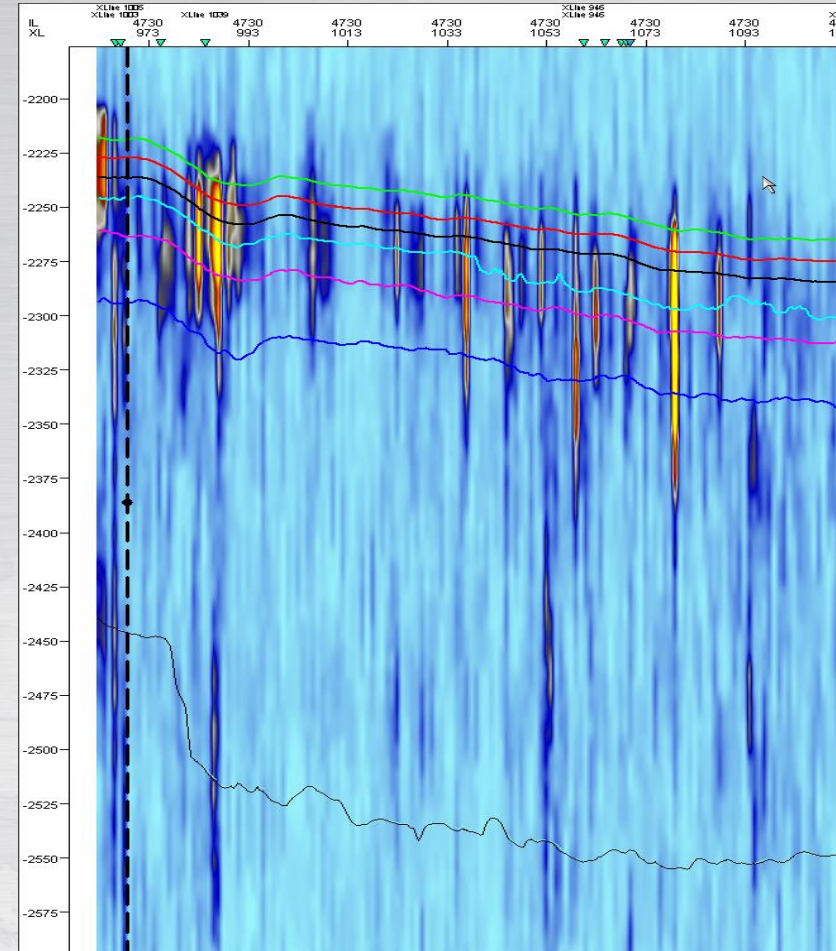
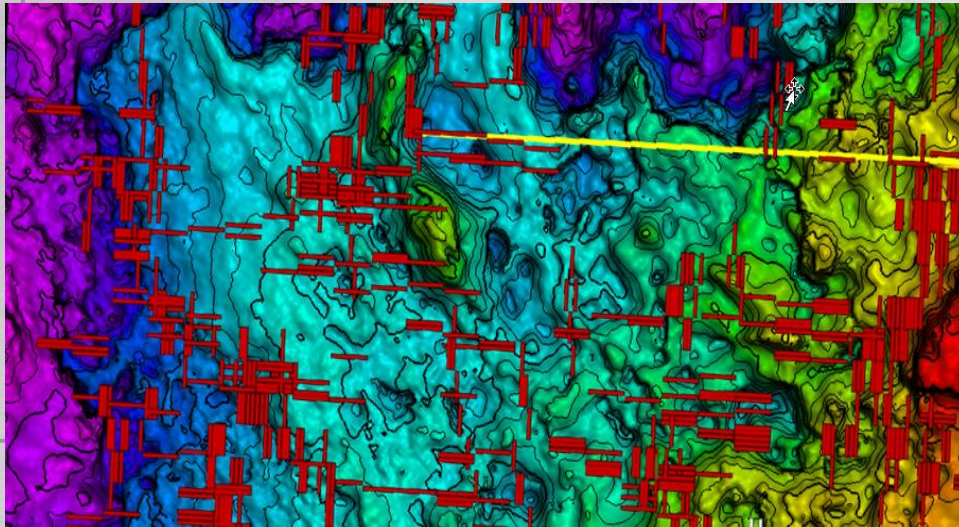
Special processing for fracturing 3: diffraction / irregularity

Используется в качестве дополнительного источника информации для выделения зон трещиноватости.

Отраженная волна подавляется высокоразрешающим Radon-фильтром.

Также используется факт смены полярности дифракции на сейсмограмме ОПВ.

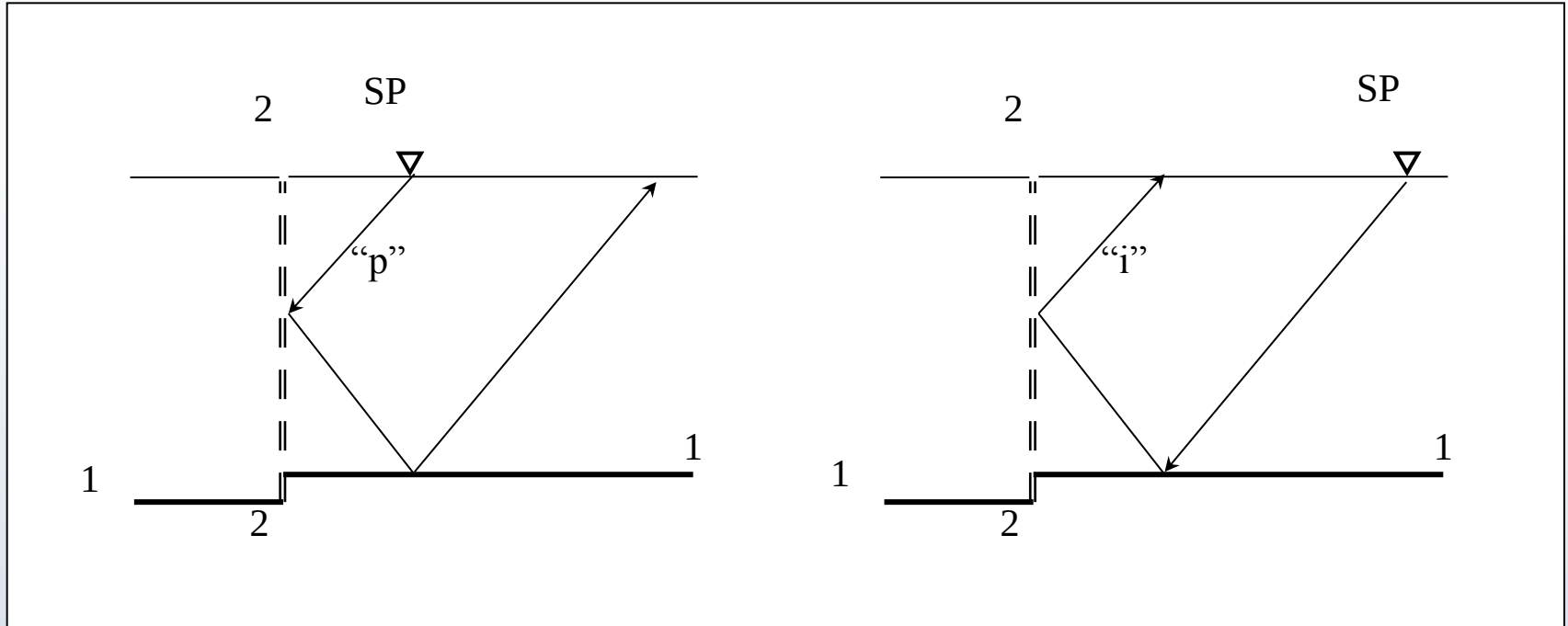
Преимущество – нет необходимости в больших удалениях.

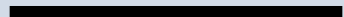


Обработка для трещиноватости 3:

Миграция дуплексных волн (МДВ / DWM) – теория

Seismic processing for fracturing: Duplex Wave Migration



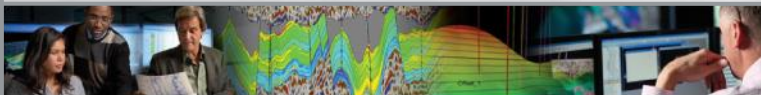
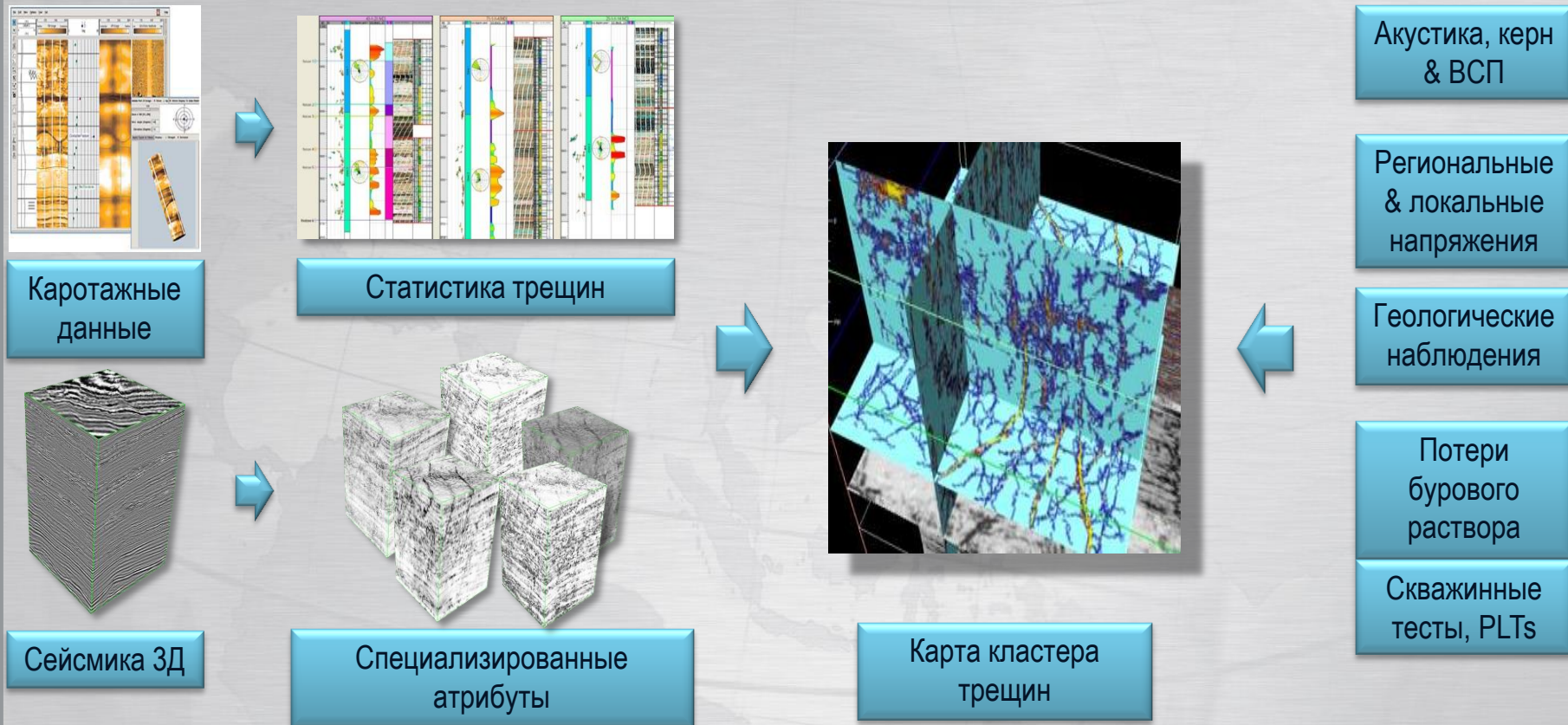
 Base boundary at the bottom of the productive layer



Target sub-vertical layer

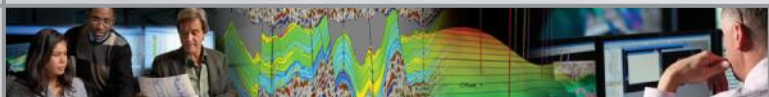
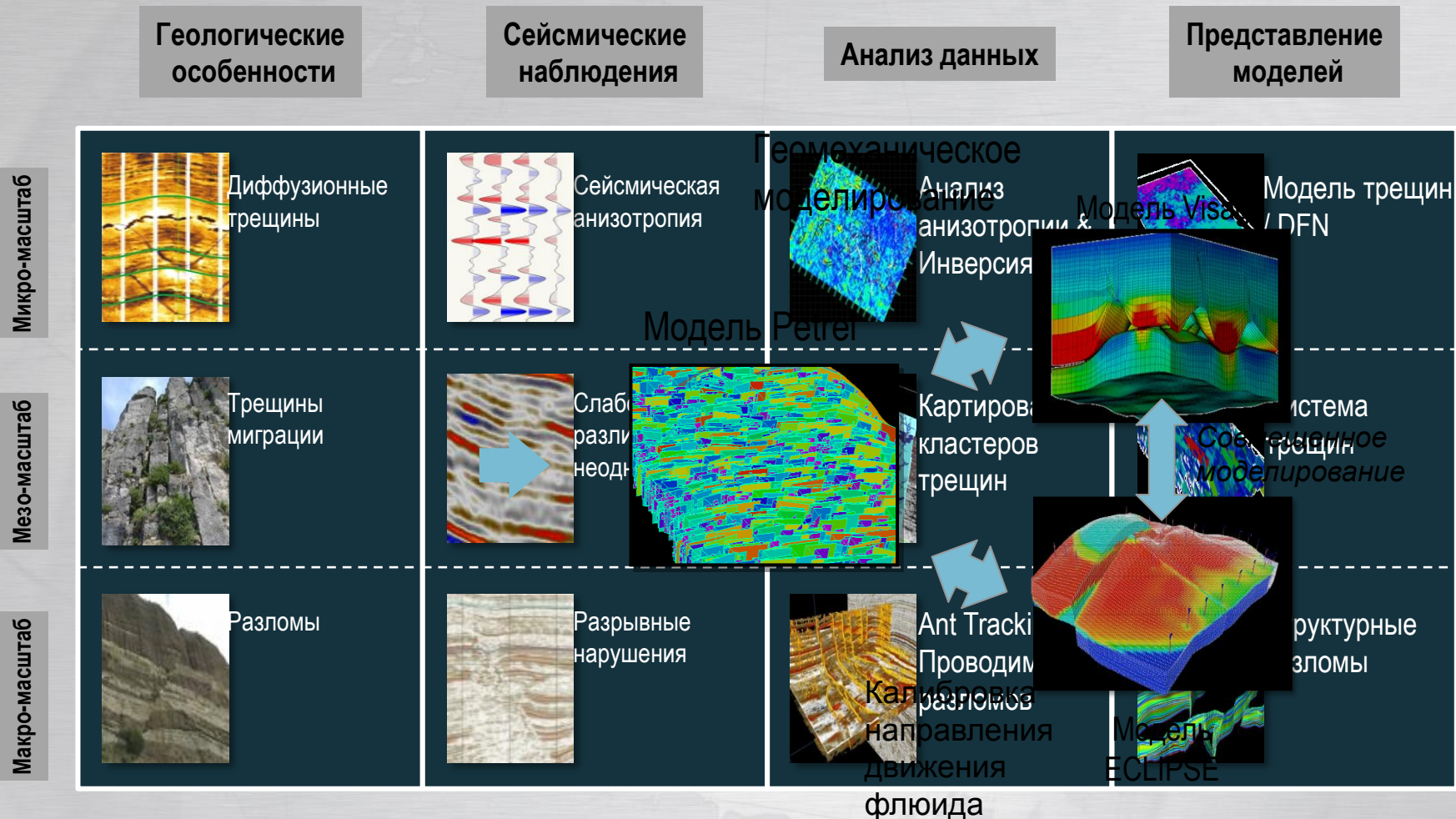
Использование атрибутов для создания моделей с двойной пористостью.

Seismic attributes for creation of double porosity models



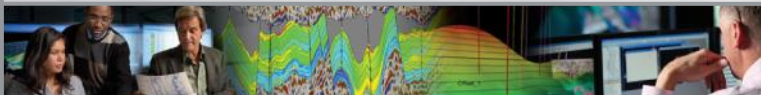
Характеристика трещин: от сейсмики к гидродинамике

Fracture Characterization: from Seismic to RE



Кинематическая интерпретация: методика выделения тектонических нарушений

- **«Ручная» корреляция по сейсмическим разрезам:**
 - разрыв и смещение осей синфазности
 - ослабление амплитуд
 - флексурные перегибы
- **Выделение линейных элементов по картам атрибутов:**
 - Временная толщина между горизонтами
 - Curvature
 - Разложение на ортогональные компоненты.
- **Расчет объемных атрибутов:** выполнение Ant Tracking по кубам Variance и Chaos
- **Использование результатов миграции дуплексных волн**



Ручная корреляция тектонических нарушений

А

Б

В

Г

Д

Е

Ж

З

И

Й

К

Л

М

Н

О

П

Р

С

Т

У

Ф

Х

Ц

Ч

Ш

Щ

Ъ

Ы

Ь

Э

Ю

Я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

ж

з

и

й

к

л

м

н

о

п

р

с

т

у

ф

х

ц

ч

ш

щ

ъ

ы

ь

э

ю

я

а

б

в

г

д

е

ё

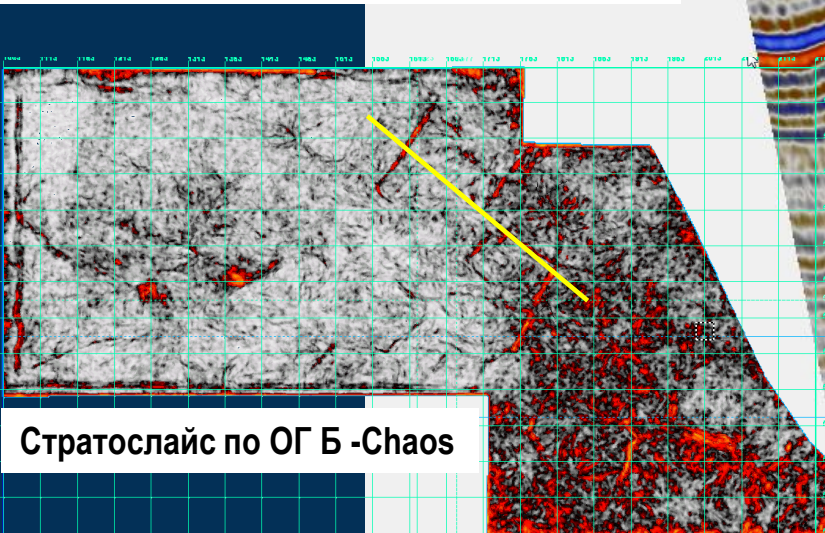
</

Система бескорневых нарушений фроловского СК

- Наблюдаемые линеаменты СВ направления на картах атрибут связаны с разломами в нижнемеловых отложениях, достигающих до кровли бажена
- Корреляция бескорневых нарушений была выполнена вручную по сейсмическим разрезам с опорой на атрибуты

Система сбросов

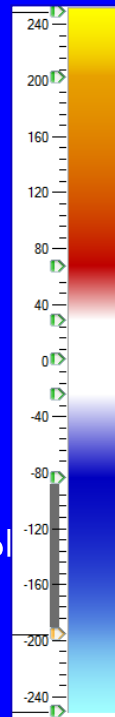
ОГ М



Сопоставление с миграцией дуплексных волн

Сопоставление аномалий дуплексных волн с разломными полигонами по ОГ Б,
выделенными по волновому полю

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности



Изучение направления простирания разломов по сейсмике и скважинам

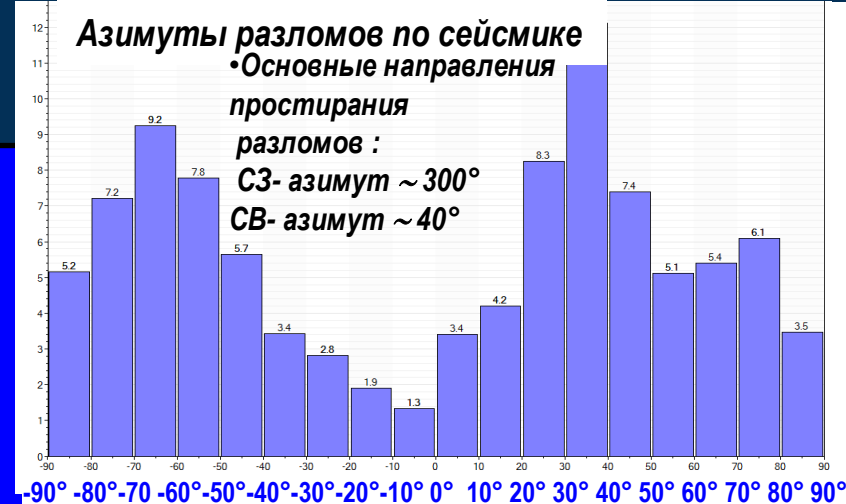
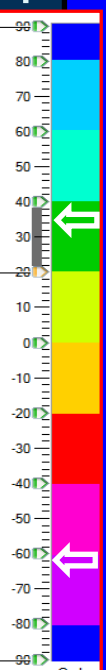
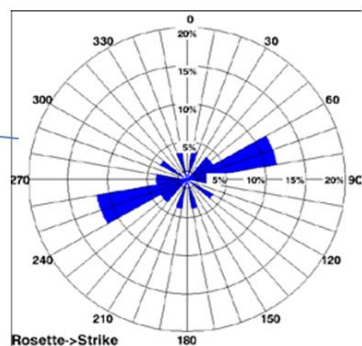


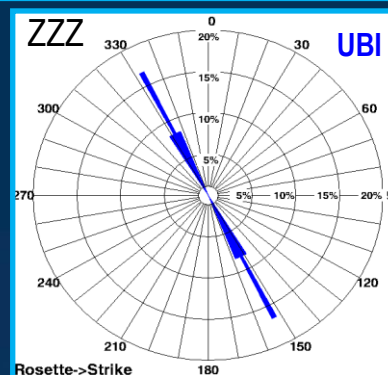
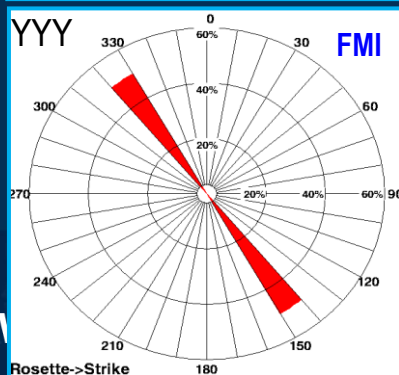
Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

Азимут простирания небольших естественных трещин по FMI скв. YYY



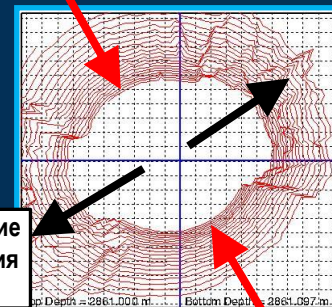
В скважине SN-3006 естественные трещины **отсутствуют**

Направление техногенной трещиноватости по скважинам



Направление максимального стресса соответствует направлению открытой трещиноватости

Стереопрофиль ствола скв. YYY по данным UBI



Направление образования вывалов

Направление максимального стресса – 330°

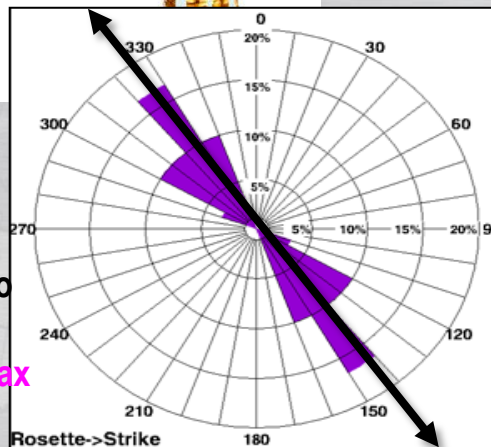
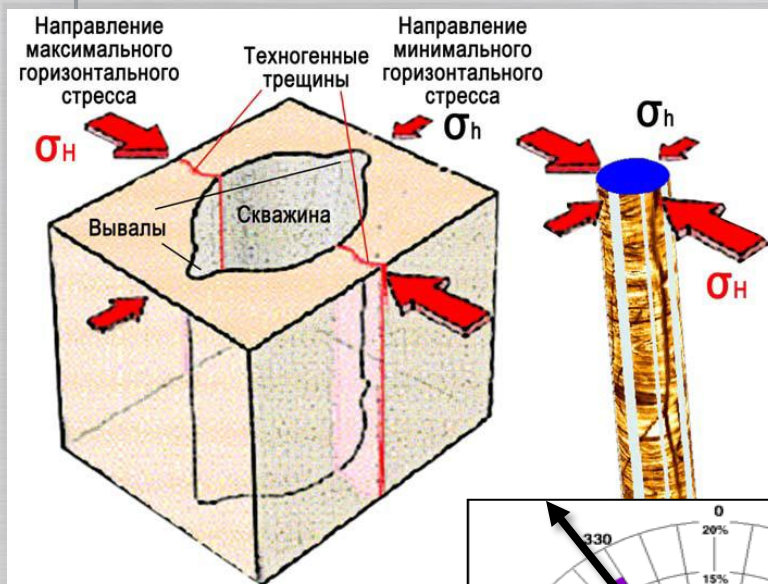
Schlumberger

AntTracking (Chaos) - связь с продуктивностью скважин / AntTracking (Chaos) - relationship with productivity

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о
конфиденциальности



Данные микроимеджеров и геометрии ствола FMI and Borehole Shape



Направление техногенной трещиноватости отражает направление максимального напряжения - (300° - 340°)

Induced fracturing reflects Hmax stress azimuth (300° - 340°)

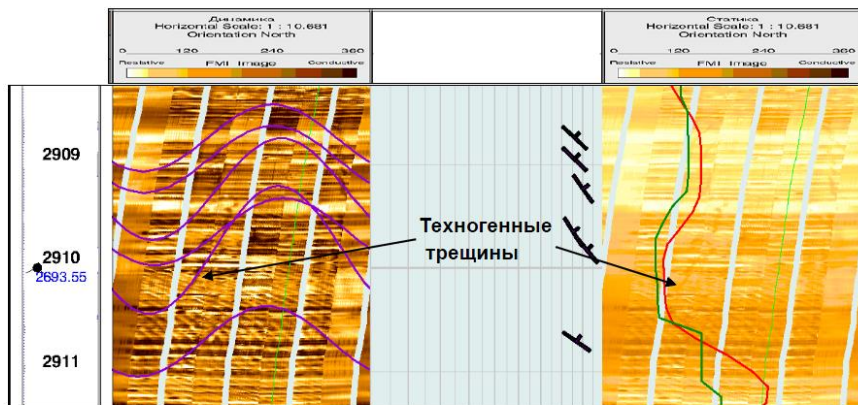


Рисунок 5.15. Пример техногенных трещин на имидже FMI

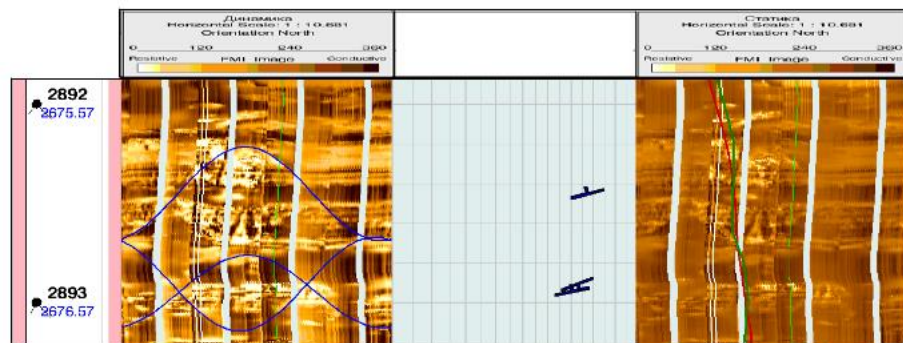


Рисунок 5.11. Пример выделения естественных трещин.

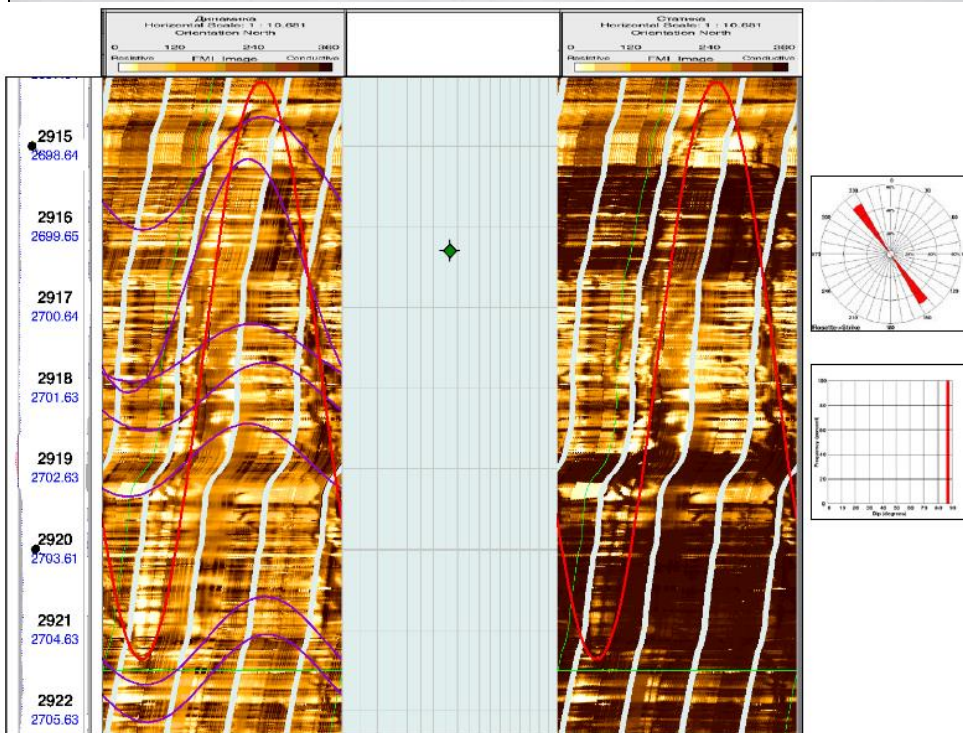
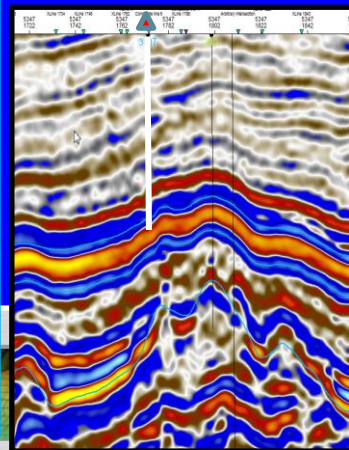
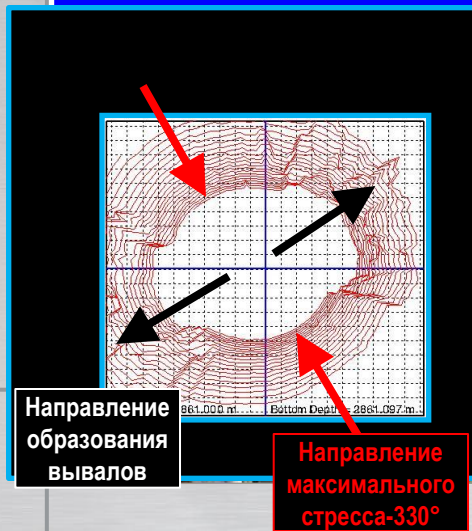
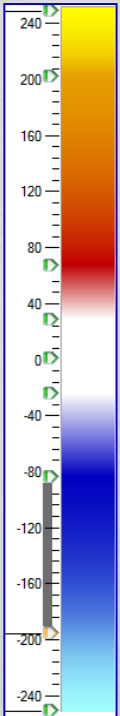


Рисунок 5.13. Трещина гидроразрыва с оперяющимися ее трещинами.

Прогноз трещиноватости: дуплексная миграция + AntTracking+ ручная интерпретация разломов + атрибуты + геомеханика Fracture Forecast: Duplex Wave + AntTracking + Faults + Attributes + GM

Цветом – аномалии МДВ
Зеленые – разломы
Duplex wave – color-coded
Faults are green

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о
конфиденциальности

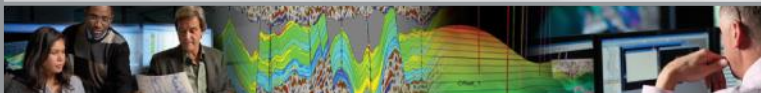


DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

Schlumberger

Содержание / Contents

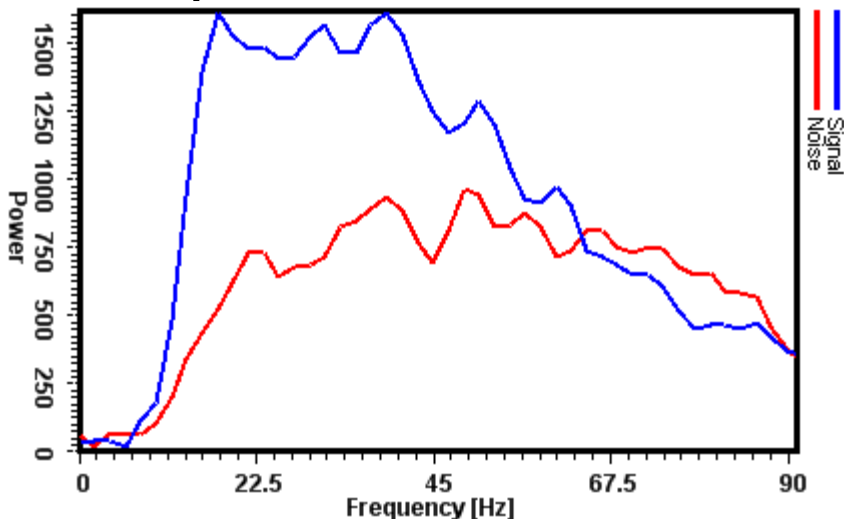
- Реальный проект по прогнозу продуктивности баженовских отложений
 - Bazhenov sweet spot integrated project: a case study
- Прогноз трещиноватости по сейсмическим данным
 - Seismic-based natural fracturing forecast
- Прогноз пористости и литологии по сейсмическим данным
 - Seismic-based lithology and porosity forecast
- Прогноз зон продуктивности и результаты бурения
 - Sweet-spot forecast and results of the drilling



Как вредит повышение разрешенности?

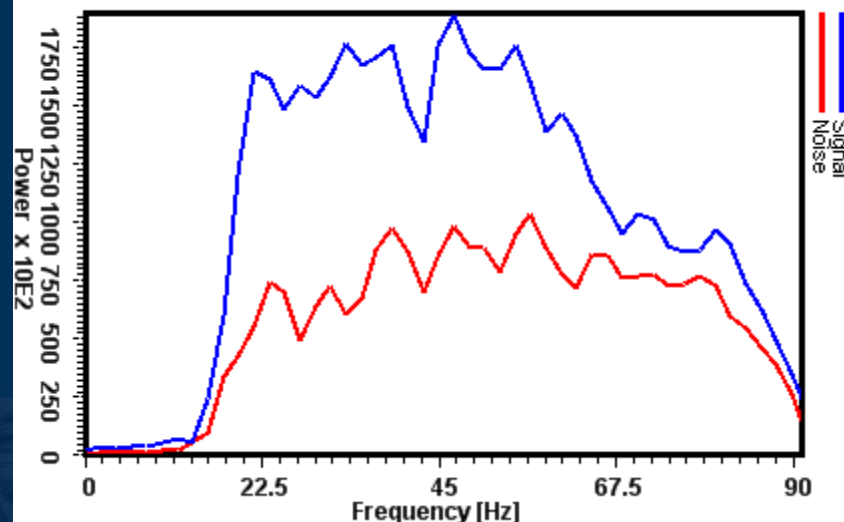
How Does Increased Frequency Hurt Seismic?

Подрядчик 1 SNEST Contractor 1

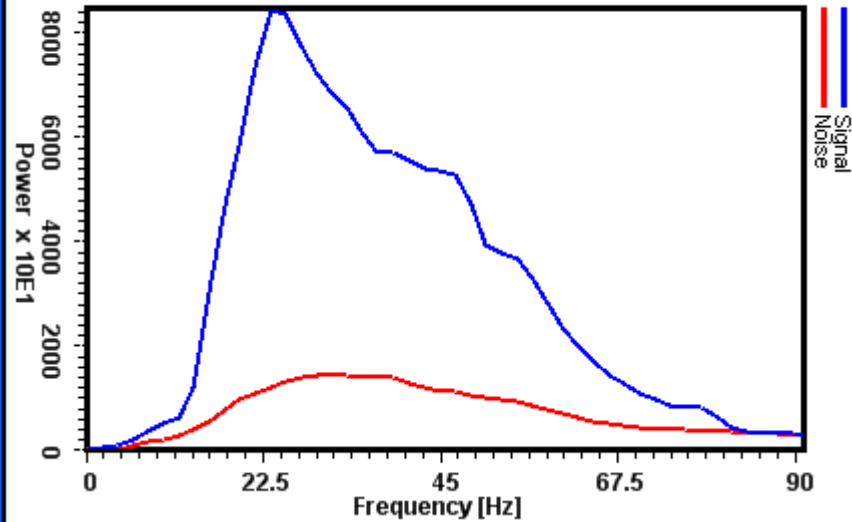


В погоне за повышенной разрешенностью сейсмических данных Подрядчик, зачастую под давлением желаний Заказчика, пренебрегает физическими ограничениями и здравым смыслом. В результате получаются разрезы с широким частотным диапазоном, высокой разрешенностью, насыщенными высокими частотами... состоящими, в основном, из шума. После хорошей обработки высокие частоты могут и не доминировать, но соотношение сигнал/шум позволяет выявлять геологические особенности на высоких частотах, в том числе с помощью инверсии.

Подрядчик 2 SNEST Contractor 2



Геопрайм / Slb SNEST



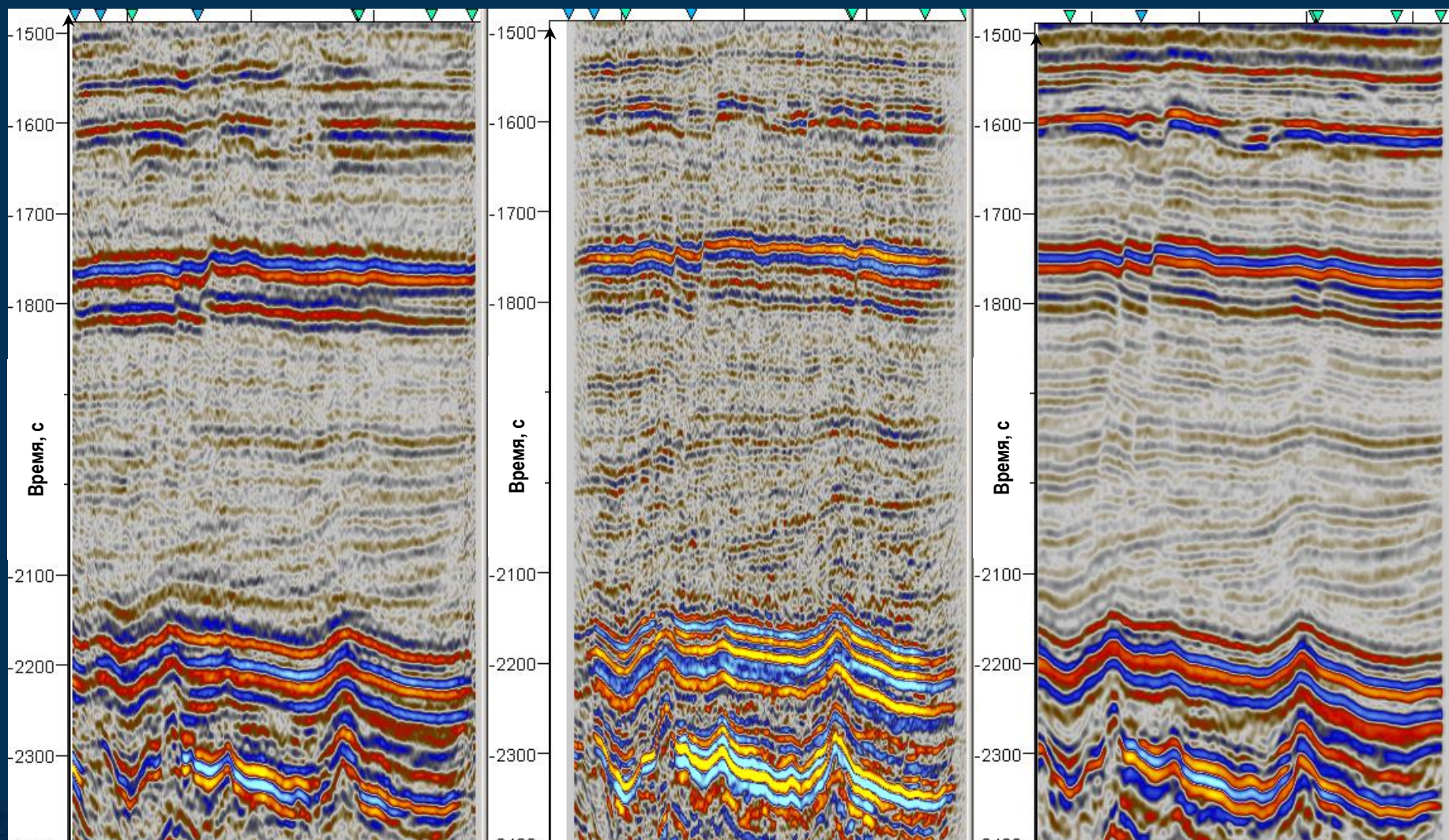
Как вредит повышение разрешенности?
How Does Increased Frequency Hurt Seismic?

Суммарный разрез
Final Stack

Компания 1 / Contractor 1

Компания 2/ Contractor 2

Geoprime + Slb



Как вредит повышение разрешенности?

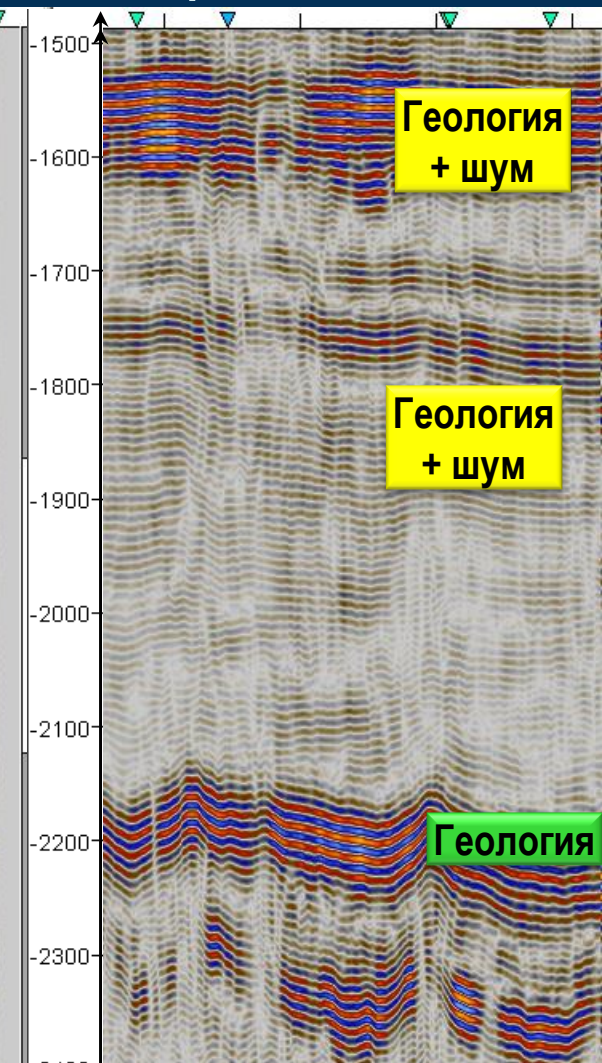
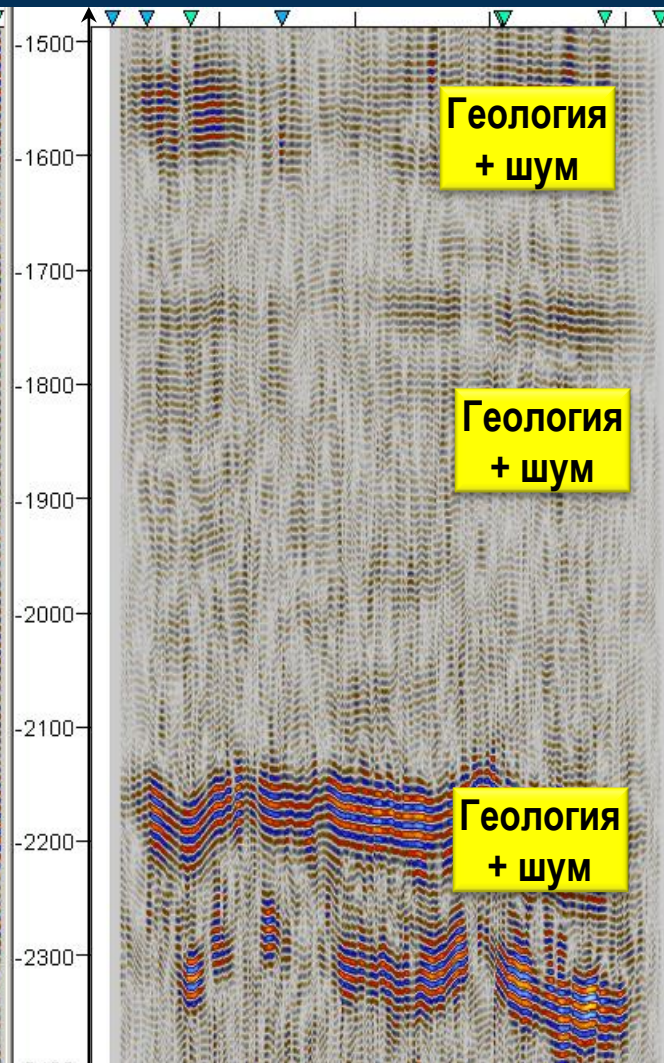
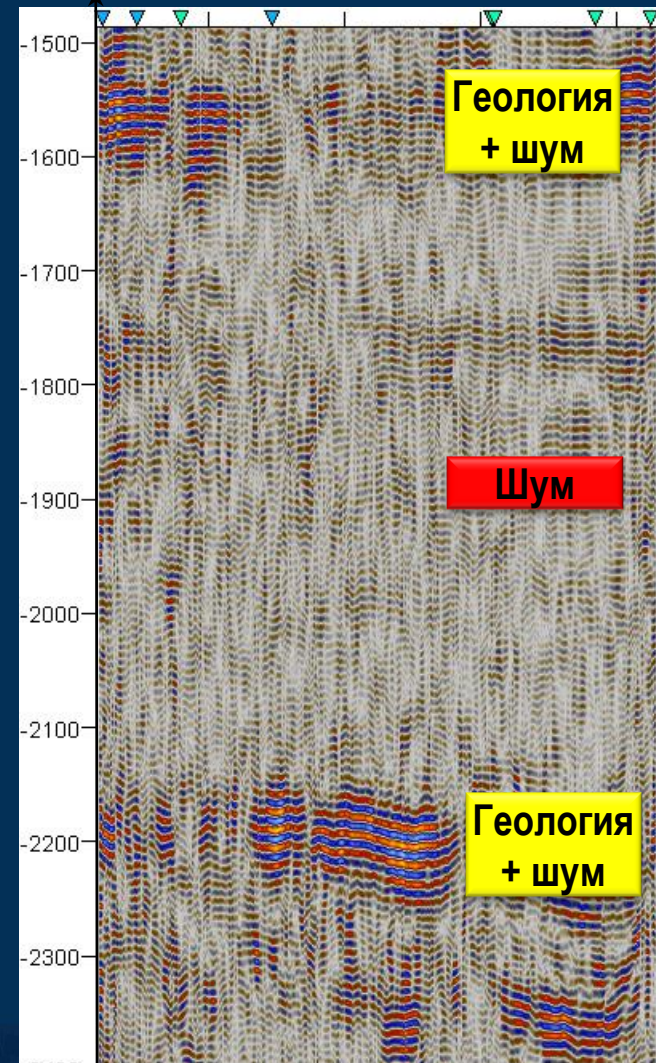
Фильтр 65-75 Гц

How Does Increased Frequency Hurt Seismic? Bandpass filter 65-75Hz

Компания 1 / Contractor 1

Компания 2/ Contractor 2

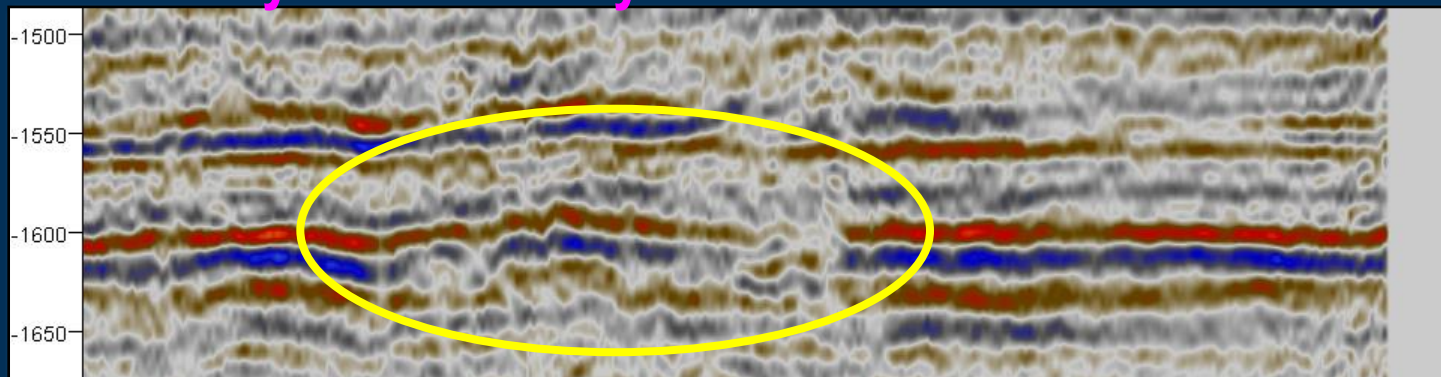
Geoprime + Slb



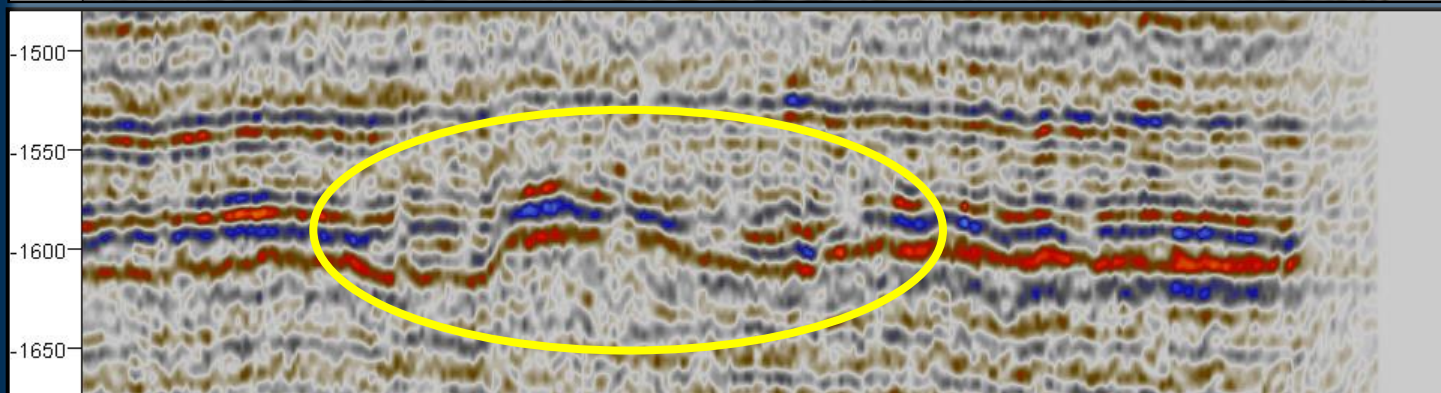
Выделение врезов в викуловской свите

Vikulov incised valleys detectability

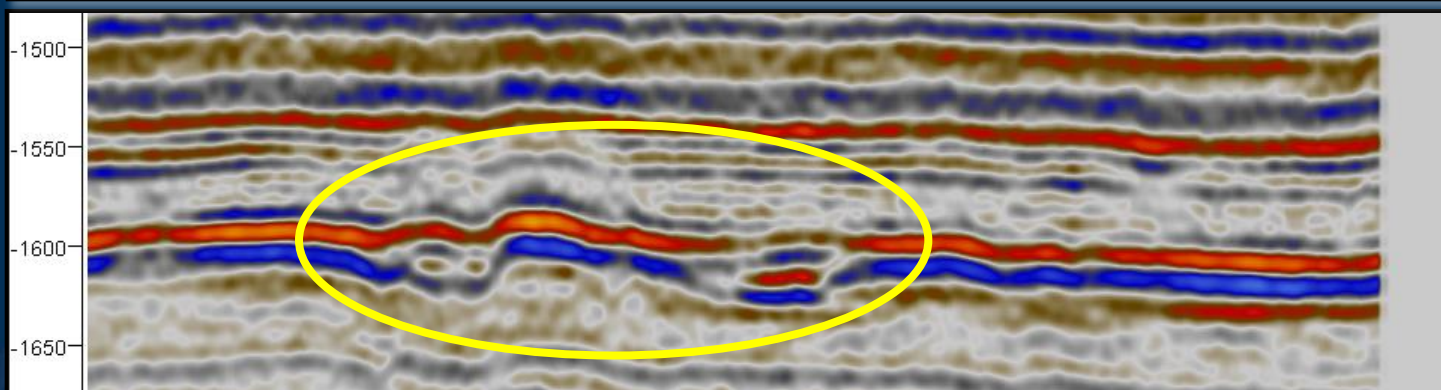
Компания 1
Contractor 1



Компания 2
Contractor 2



Geoprime +
Slb



Что такое сейсмическая инверсия? What is Inversion?

Сейсмические наблюдения / Seismic

$$S = RC * W + N$$

Коллекторские свойства

Упругие свойства

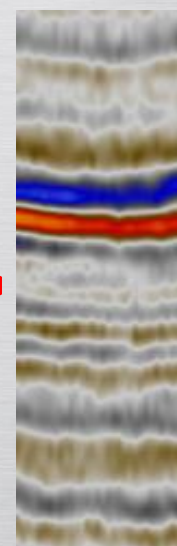
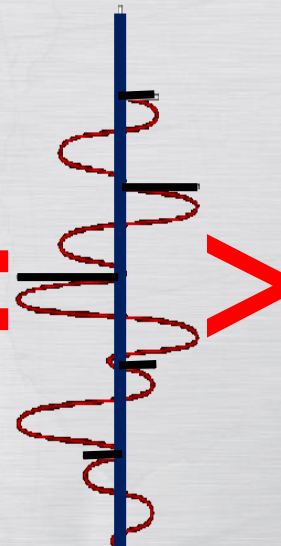
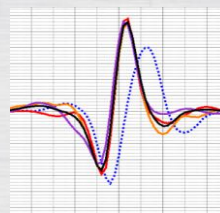
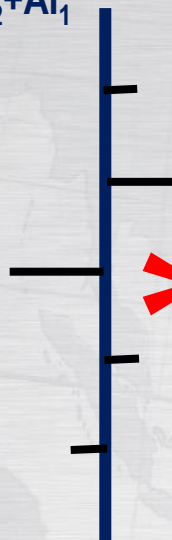
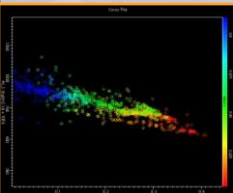
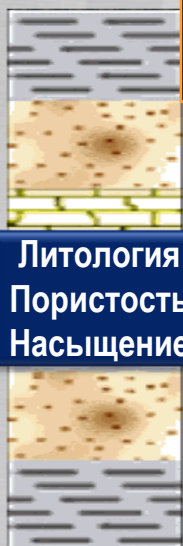
Коэффициенты отражения

Свертка с сигналом

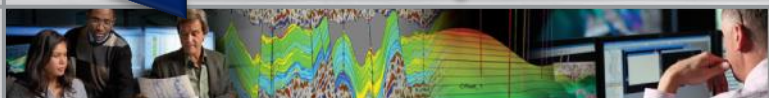
Сейсмические трассы

$$RC = \frac{AI_2 - AI_1}{AI_2 + AI_1}$$

$$\begin{aligned} Vp_1 * \rho_1 &= AI_1 \\ Vp_2 * \rho_2 &= AI_2 \\ Vp_3 * \rho_3 &= AI_3 \\ Vp_4 * \rho_4 &= AI_4 \\ Vp_5 * \rho_5 &= AI_5 \\ Vp_6 * \rho_6 &= AI_6 \end{aligned}$$



Акустическая инверсия / Acoustic Inversion



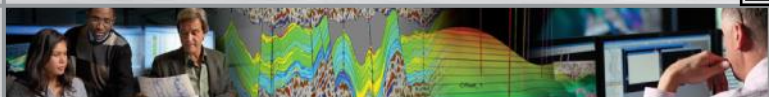
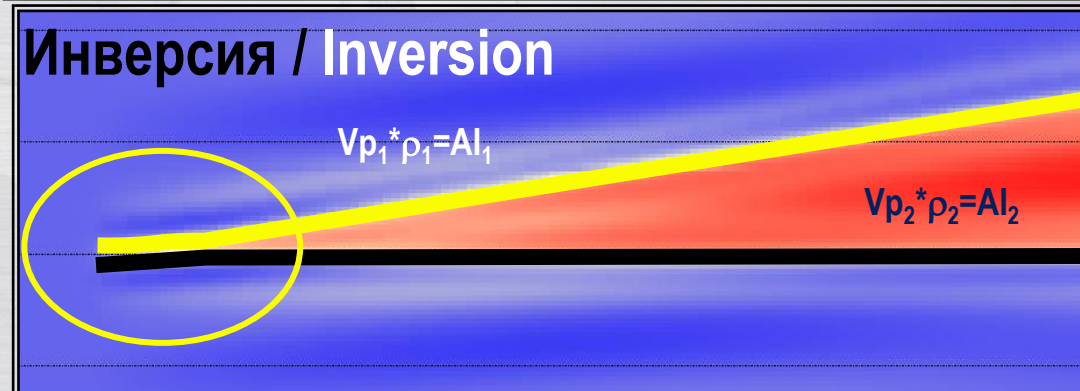
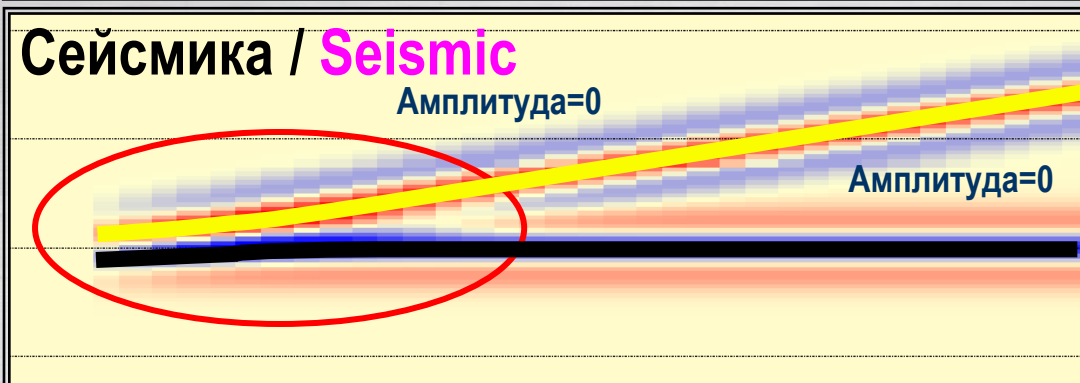
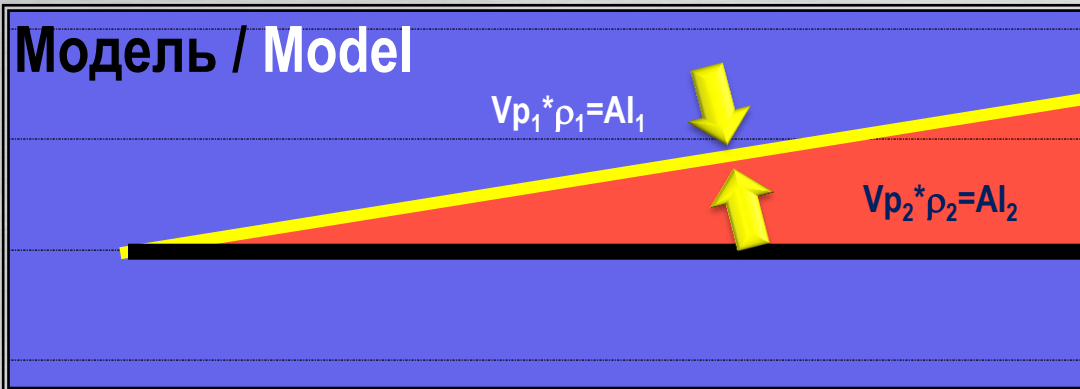
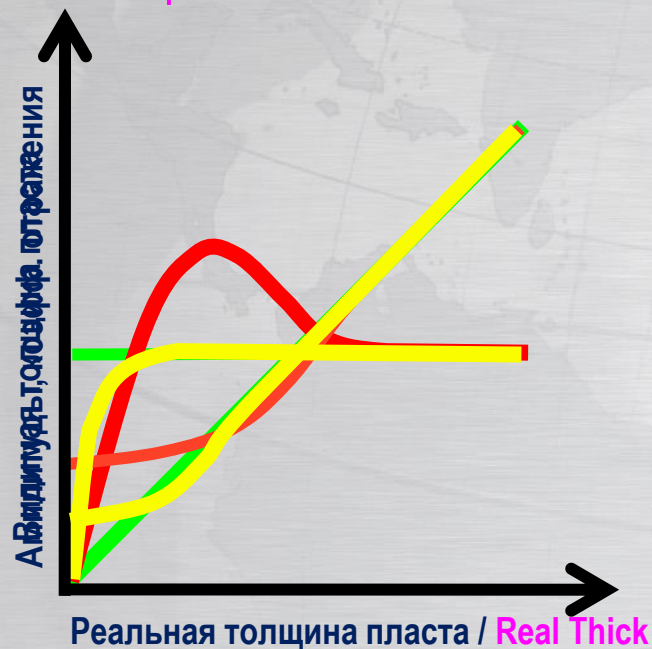
DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

Schlumberger

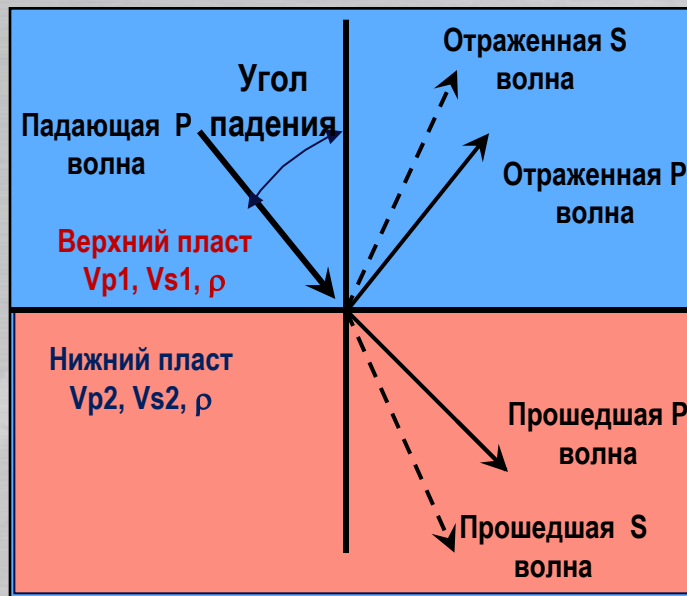
Почему инверсия лучше?

Why Inversion

1. Амплитуда или импеданс
Amplitude or Impedance?
2. Интерференция
Side Lobes Effects
3. Прослеживание горизонтов
Interpretation



AVO эффект / AVO



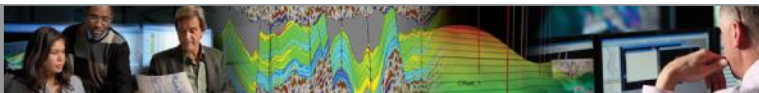
Сейсмограмма / Seismic gather
Угол падения / Angle of Incident



Knott-Zoeppritz

Синхронная AVA/AVO инверсия

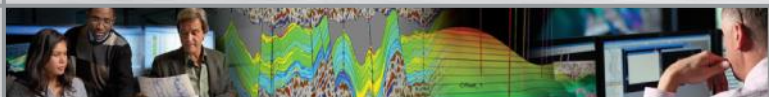
$$\begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \varphi_1 & -\sin \theta_2 & \cos \varphi_2 \\ -\cos \theta_1 & \sin \varphi_1 & -\cos \theta_2 & -\sin \varphi_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{V_{p1}}{V_{s1}} \cos 2\varphi_1 & \frac{\rho_2 V_{s2}^2 V_{p1}}{\rho_1 V_{s1}^2 V_{p2}} \sin 2\theta_2 & \frac{\rho_2 V_{s2} V_{p1}}{\rho_1 V_{s1}^2} \cos 2\theta_2 \\ \cos 2\varphi_1 & -\frac{V_{s1}}{V_{p1}} \sin 2\varphi_1 & -\frac{\rho_2 V_{p2}}{\rho_1 V_{p1}} \cos 2\varphi_2 & -\frac{\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{p1}} \sin 2\varphi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{pp} \\ r_{ps} \\ r_{sp} \\ r_{ss} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_1 \\ -\cos \theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ -\cos 2\varphi_1 \end{bmatrix}$$



DATA & CONSULTING SERVICES
Global expertise

Schlumberger

Импульсная сейсмическая инверсия в Petrel



Одновременная AVA/AVO инверсия MMRD

Данные ГИС

Определение
оптимальных
импульсов

Привязка и
извлечение
сигналов

ISIS - одновременная
AVA/AVO инверсия

Низкочастотные
модели

Упругие свойства

Угловые
кубы

AI

Vp/Vs

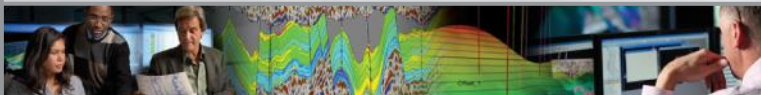
Плотность

Schlumberger

Низкочастотная модель

Одна из наиболее важных вещей в инверсии

- Данные ГИС
- Горизонты и разломы
- Углы наклонов
- Скорости
- Зависимости свойств от глубины



Откуда берется повышенная детальность?

Nothing Gets from Nowhere!

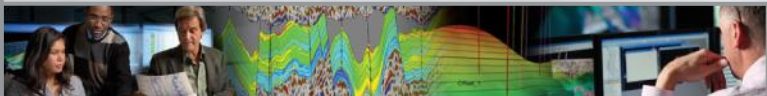
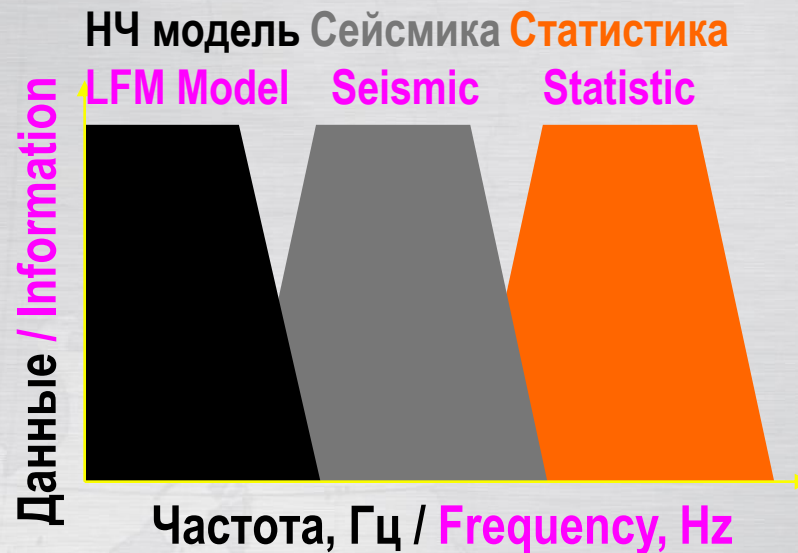
Ничто не возникает ниоткуда.

Ниже сейсмической частоты – из низкочастотной модели.

В пределах сейсмики – из сейсмических данных.

За пределами сейсмической разрешенности – статистически верная оценка на основе данных ГИС.

Увязано со скважинами!



Анализ петроупругих свойств / Petro-elastic relationship

Литология

1. породы глинисто-кремнистые; кремнисто-глинистые; карбонатно-глинисто-кремнистые

2. керогено-глинисто-кремнистые (с высоким содержанием ОВ)

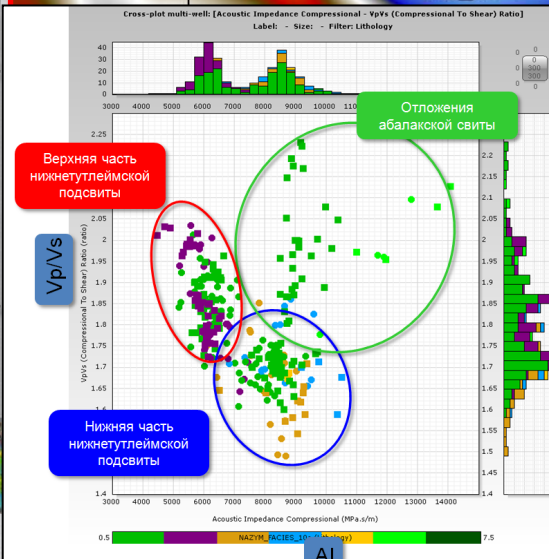
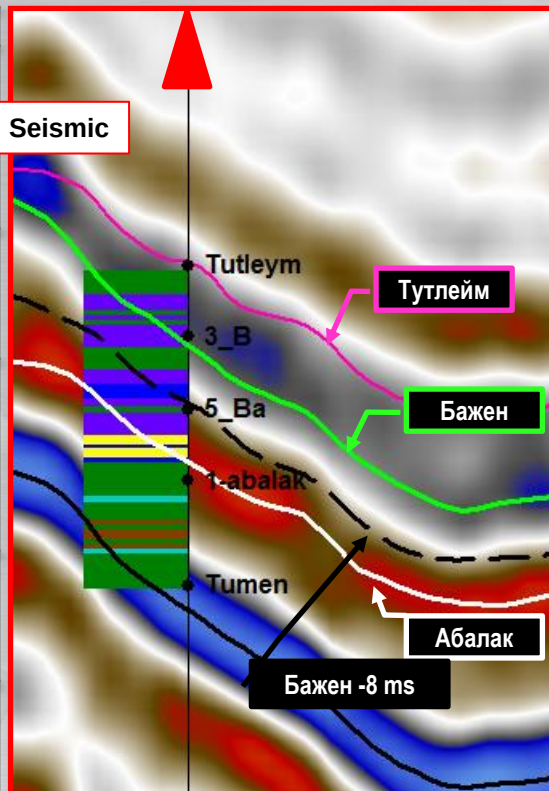
3. карбонатно-кремнистые доломитизированные породы (доломитизированный радиоларит) - **коллектор**

4. Известняки (плотные прослои)

5. кремнистые породы (радиолариты) - **коллектор**

6. кремнисто-карбонатные породы, трещиноватые, участками брекчированные, кавернозные - аналог КС1, между баженом и абалаком

7. глинистые разности пород

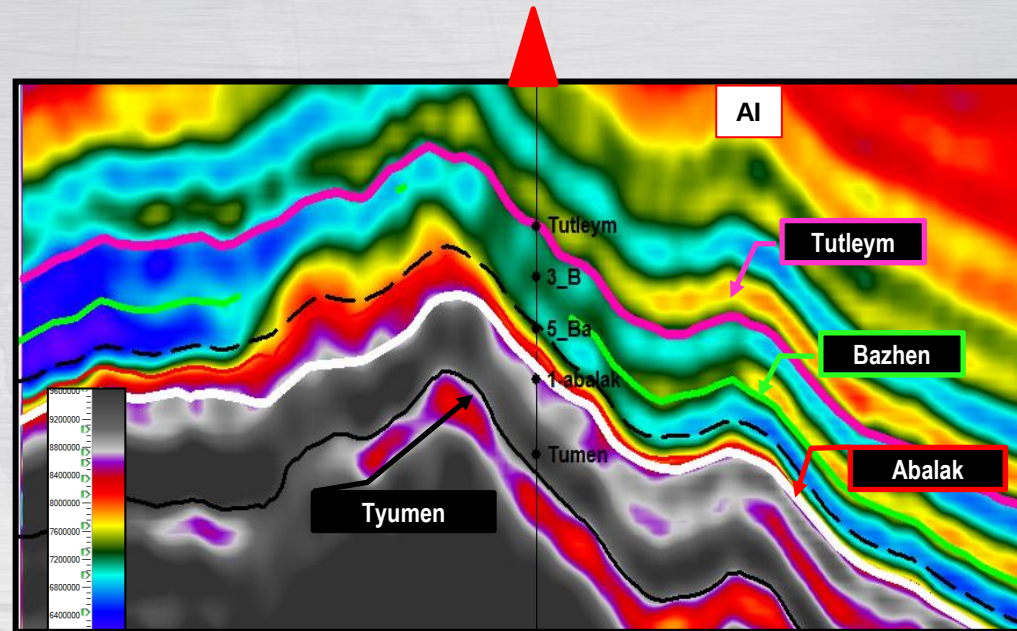


Коллектор – тонкий прослой пористых радиоларитов

Reservoir is thin layer of porous radiolarites

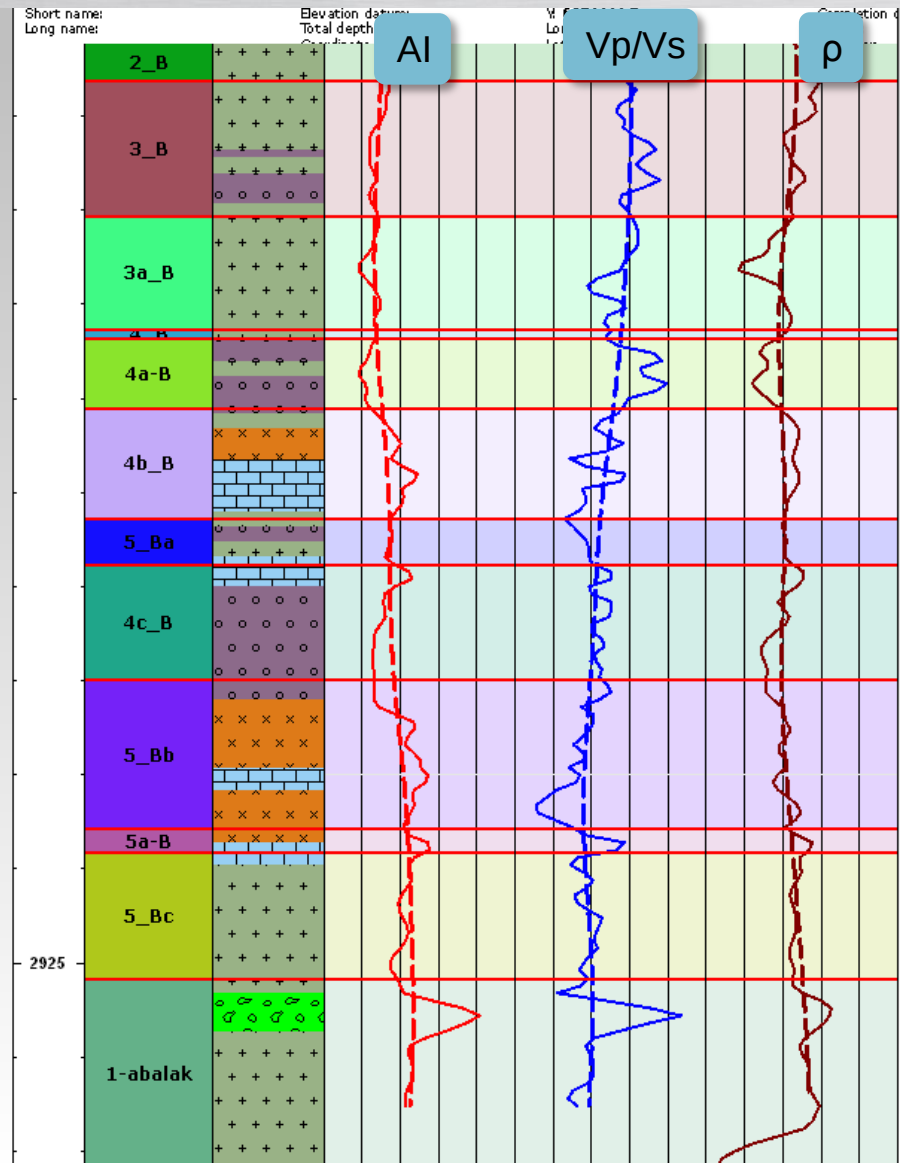
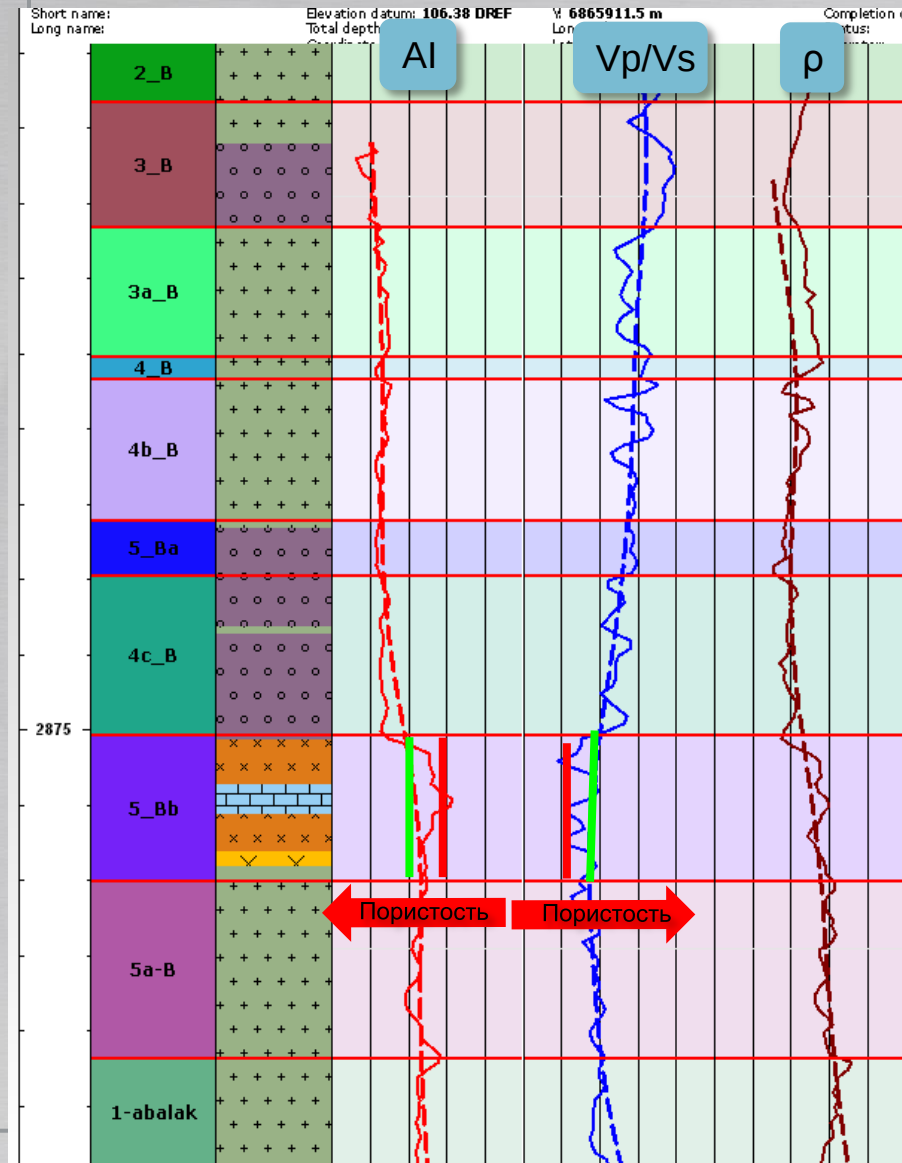
Для прогноза мощности использовалась детерминистическая и стохастическая AVA инверсии в сочетании с результатами петроупругого моделирования

Seismic deterministic and stochastic inversion used for net thickness forecast.



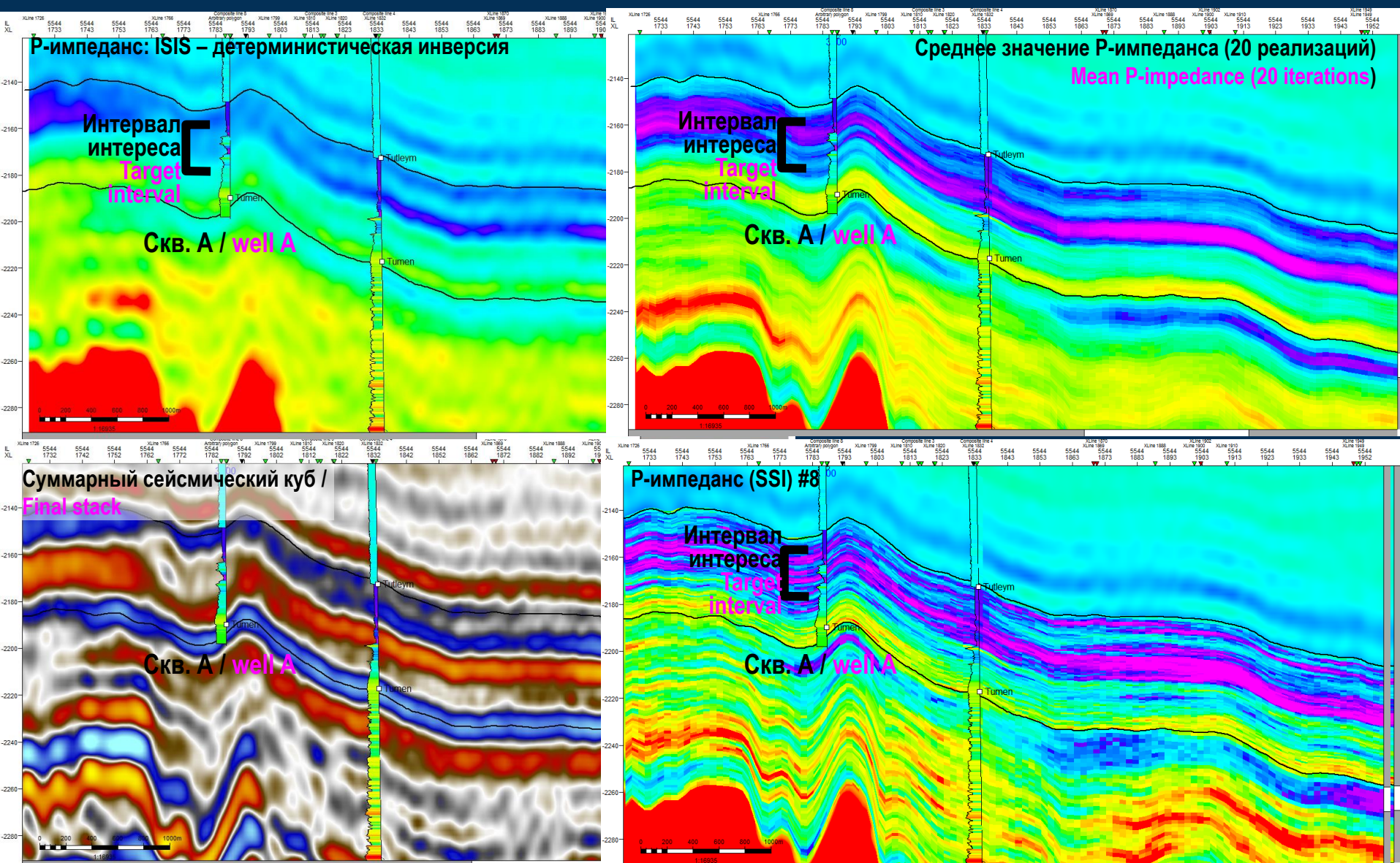
Обоснование прогноза коллекторских свойств

Petro-elastic relationship



Стохастическая инверсия / Stochastic AVA inversion

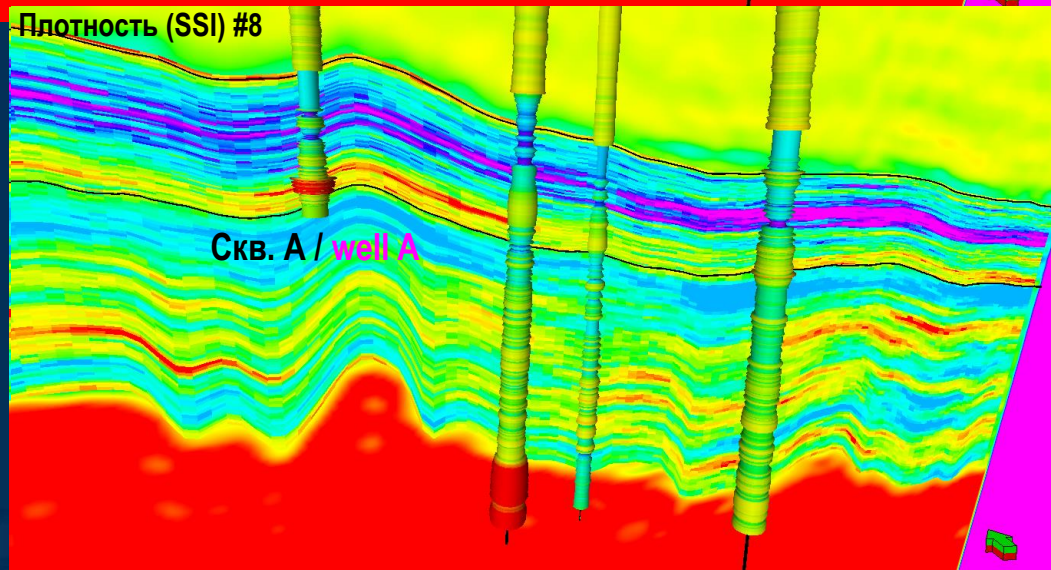
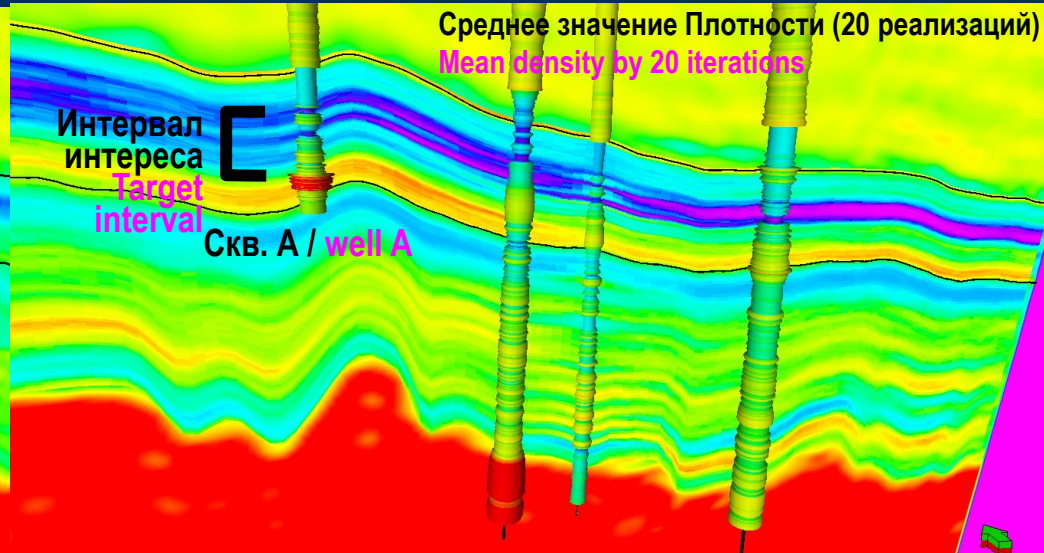
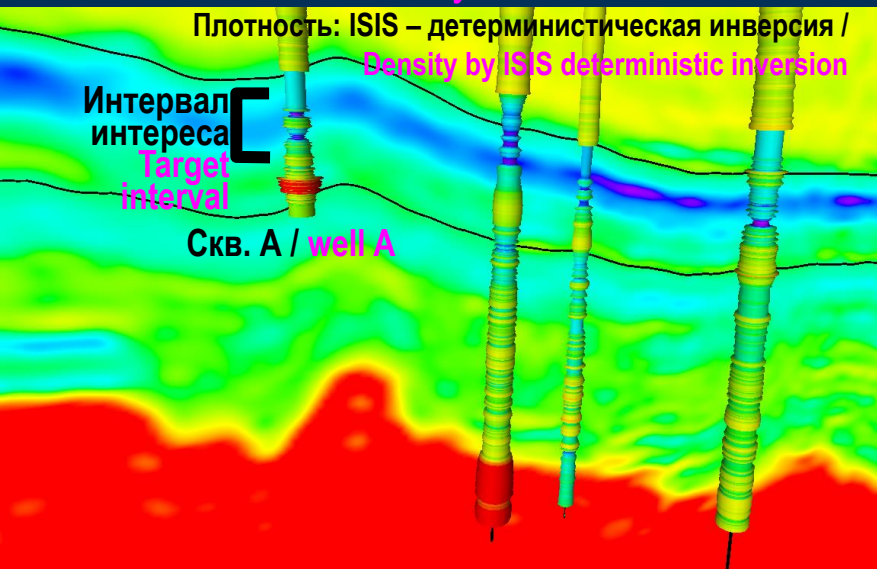
Сопоставление АИ в скв. А, не использованной в инверсии / Blind test well A AI forecast



Стохастическая AVA инверсия / Stochastic AVA inversion

Сопоставление плотности в скв. А, не использованной в инверсии /

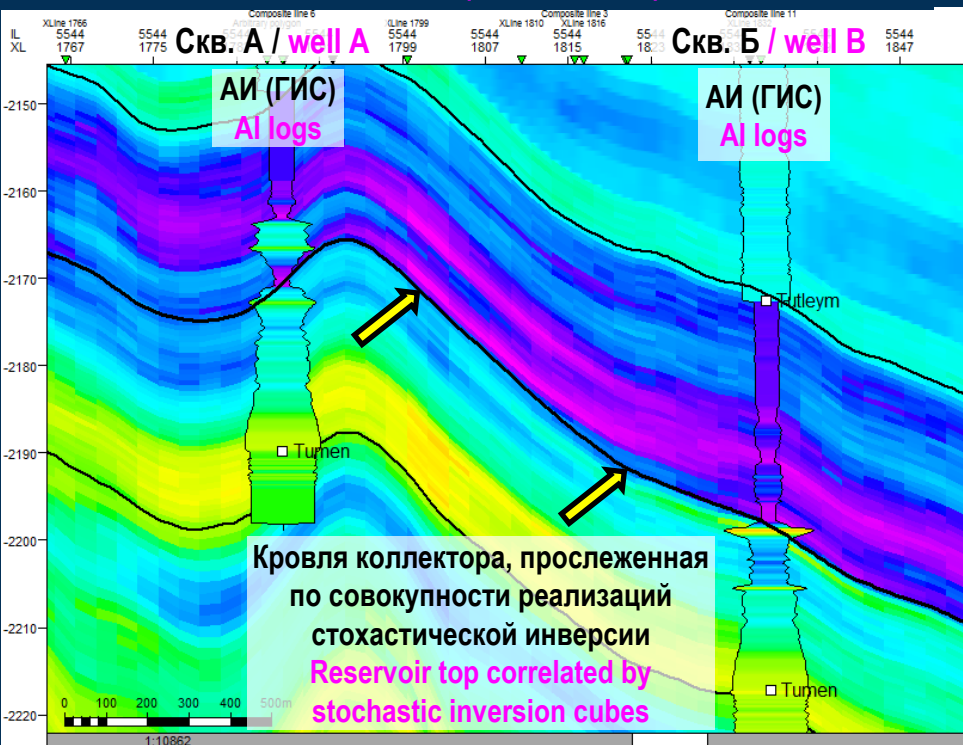
Blind test well A density forecast



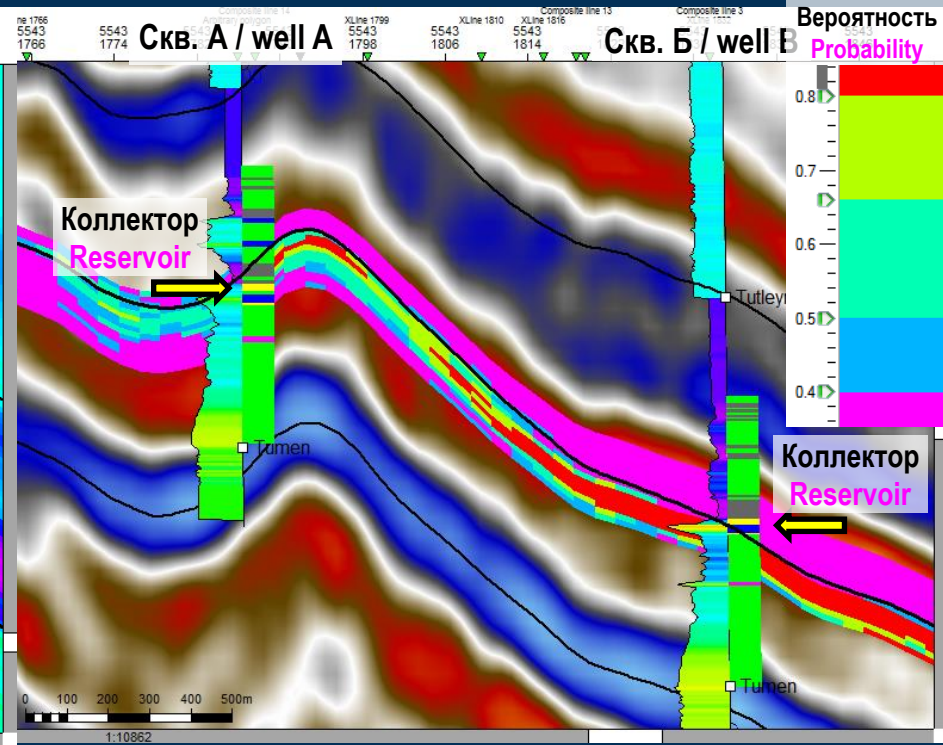
Стохастическая AVA инверсия / Stochastic AVA inversion

Прогноз вероятности коллектора в скв. А, не использованной в инверсии
Reservoir probability forecast in blind well A

Среднее значение АИ (20 реализаций)
Mean of AI (20 iterations)



Вероятность наличия коллектора (выделен желтым)
Reservoir probability (highlighted in yellow)



Интерпретация инверсии – вероятность коллектора

Inversion Interpretation – Reservoir Probability

Иллюстрация была удалена в соответствии с
соглашением о конфиденциальности

Вероятность литокласса 2 (коллектор)
Probability of lithoclass 2 (reservoir)

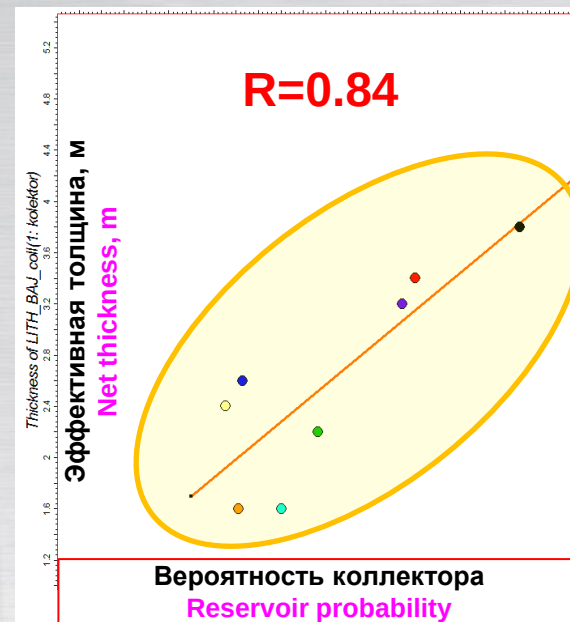
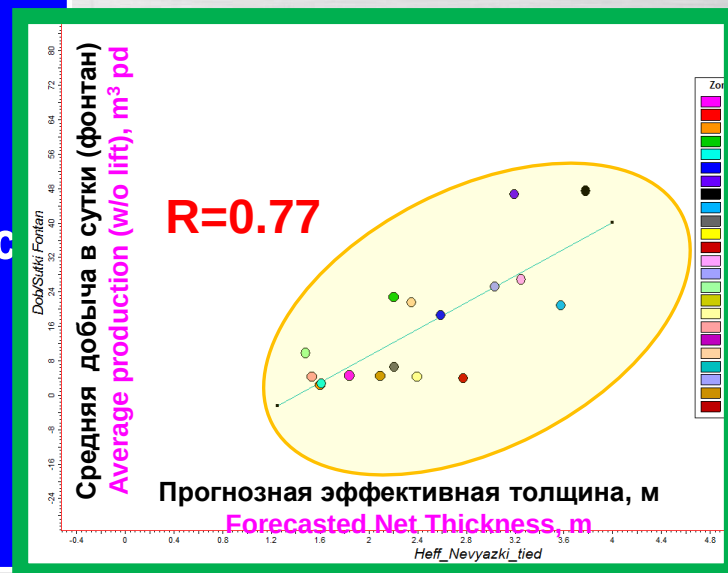


Иллюстрация была удалена в соответствии с
соглашением о конфиденциальности

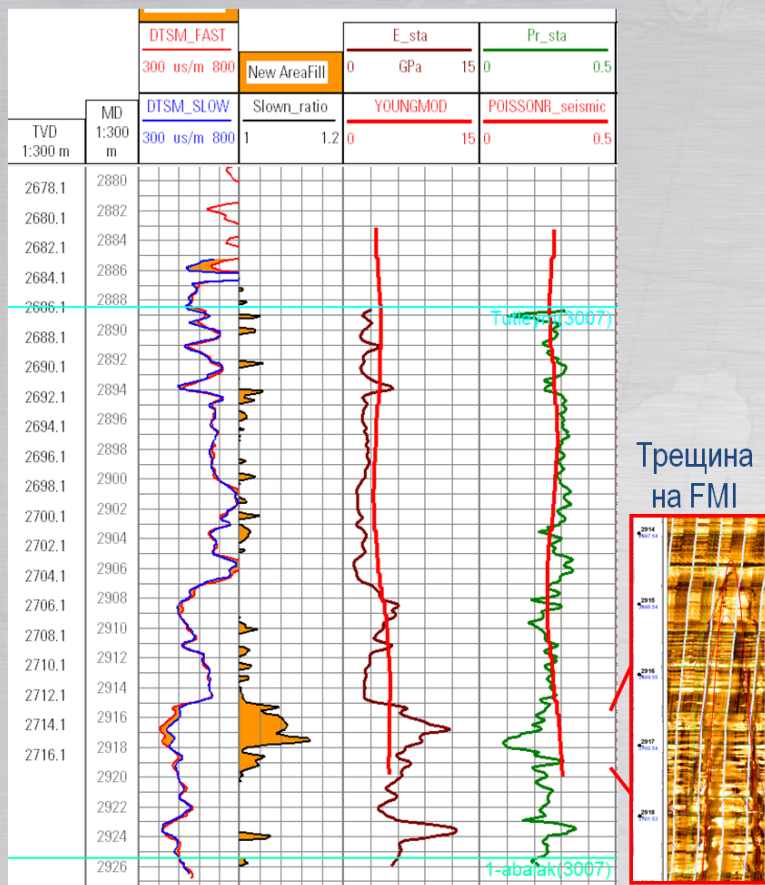
Карта прогнозных эффективных толщин
Map of forecasted net thickness



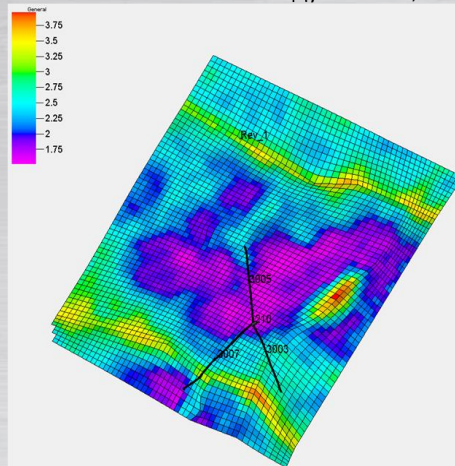
Геомеханическое моделирование с учетом результатов инверсии

Inversion-based Geomechanic Modelling

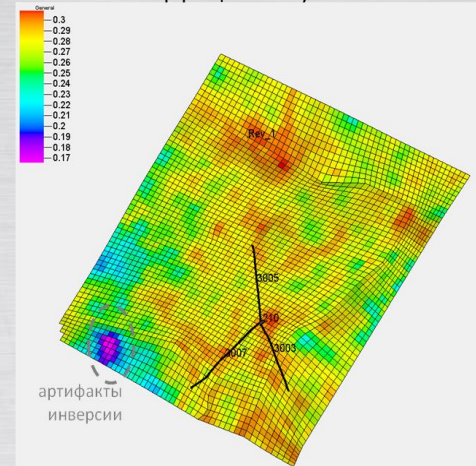
1D калибровка / 1D calibration



а. Статический модуль Юнга, ГПа

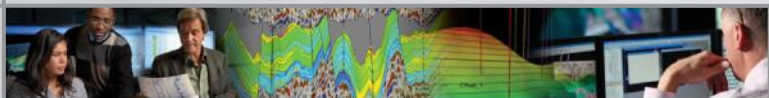


б. коэффициент Пуассона



Для 3D геомеханического моделирования использовались данные сейсмической инверсии – кубы модуля Юнга, коэффициента Пуассона и плотности.

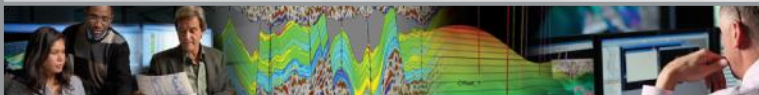
Cubes of Poisson coefficient, Young moduli and density derived from seismic by inversion have been used for 3D geomechanical modelling



Карты пластовых давлений, магнитуд и направлений максимального горизонтального напряжения Formation Pressure and Hmax Stress Maps

Иллюстрация была удалена в
соответствии с соглашением о
конфиденциальности

Иллюстрация была удалена в
соответствии с соглашением о
конфиденциальности



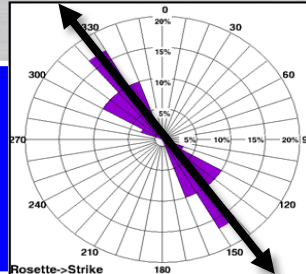
Прогноз открытой трещиноватости

Open fracture forecast

Анизотропия скоростей

Velocity anisotropy

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности



Curvature

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

Ant-Tracking Variance

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

Напряжения Stress

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

Дуплексная миграция / Duplex waves

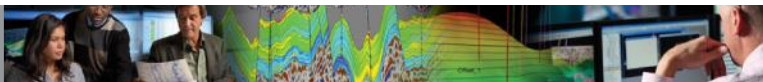
Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

Комплексная интерпретация: выбор точек под бурение

Integrated interpretation: well location recommendations

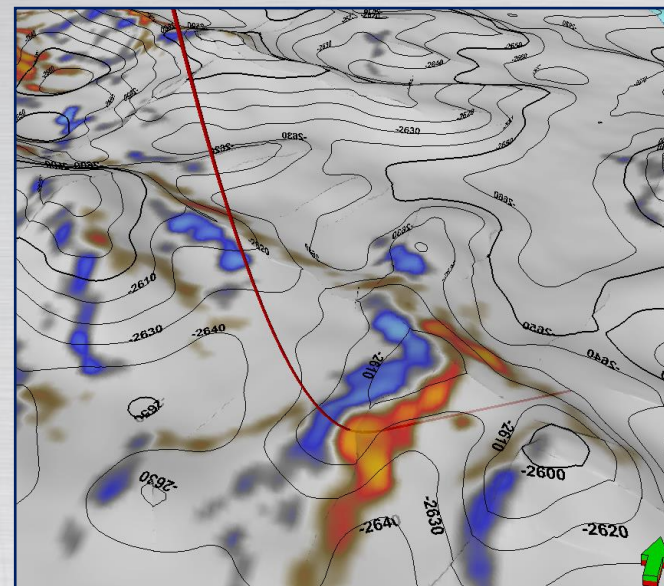
Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности

Прогнозные эфф. толщины +	Net thickness forecast+
Прогноз напряжений +	Stress forecast +
Карта дуплексных волн +	Duplex wave anomalies +
Карты азимутальной анизотропии +	Azimuth anisotropy anomalies +
Карты атрибутов трещиноватости +	Fracture attributes +
Данные скважин	Well data
Рекомендации под бурение	Well location recommendations

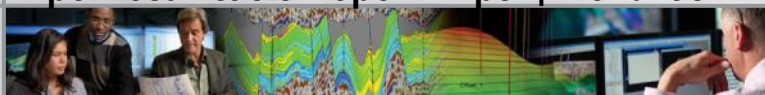
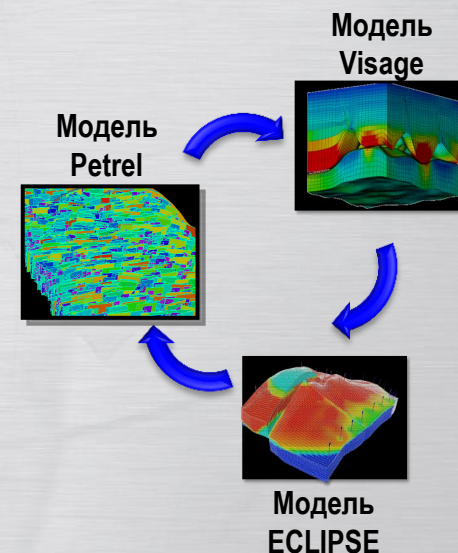


Заключение и рекомендации

Иллюстрация была удалена в соответствии с соглашением о конфиденциальности



1. Бурение горизонтальных скважин в области наличия коллектора и повышенной естественной трещиноватости, проведение ГРП.
2. Выполнение совместного геологического, гидродинамического и геомеханического моделирования с использованием сейсмического прогноза коллекторов и трещиноватости.



Uni-Q продолжение развития технологии Q-Land

✓ Базовая концепция

- Съёмка с точечным приемником и источником
- Адекватная пространственная дискретизация сигнал – помеха

✓ Позволяет получать данные превосходного качества

- Подавление шума
- Отсутствие искажения сигнала

✓ Многочисленные практические применения

- Разведка, изучение коллекторов, точное отображение структуры и детальное картирование, широкоазимутальные съемки и азимутальная сейсмическая инверсия

