



Особенности обработки данных повторяющихся трехмерных сейсмических съемок

Добровольская Александра Егоровна

МГУ им. М.В. Ломоносова

Геологический факультет

Кафедра Сейсмометрии и геоакустики

Цели исследования



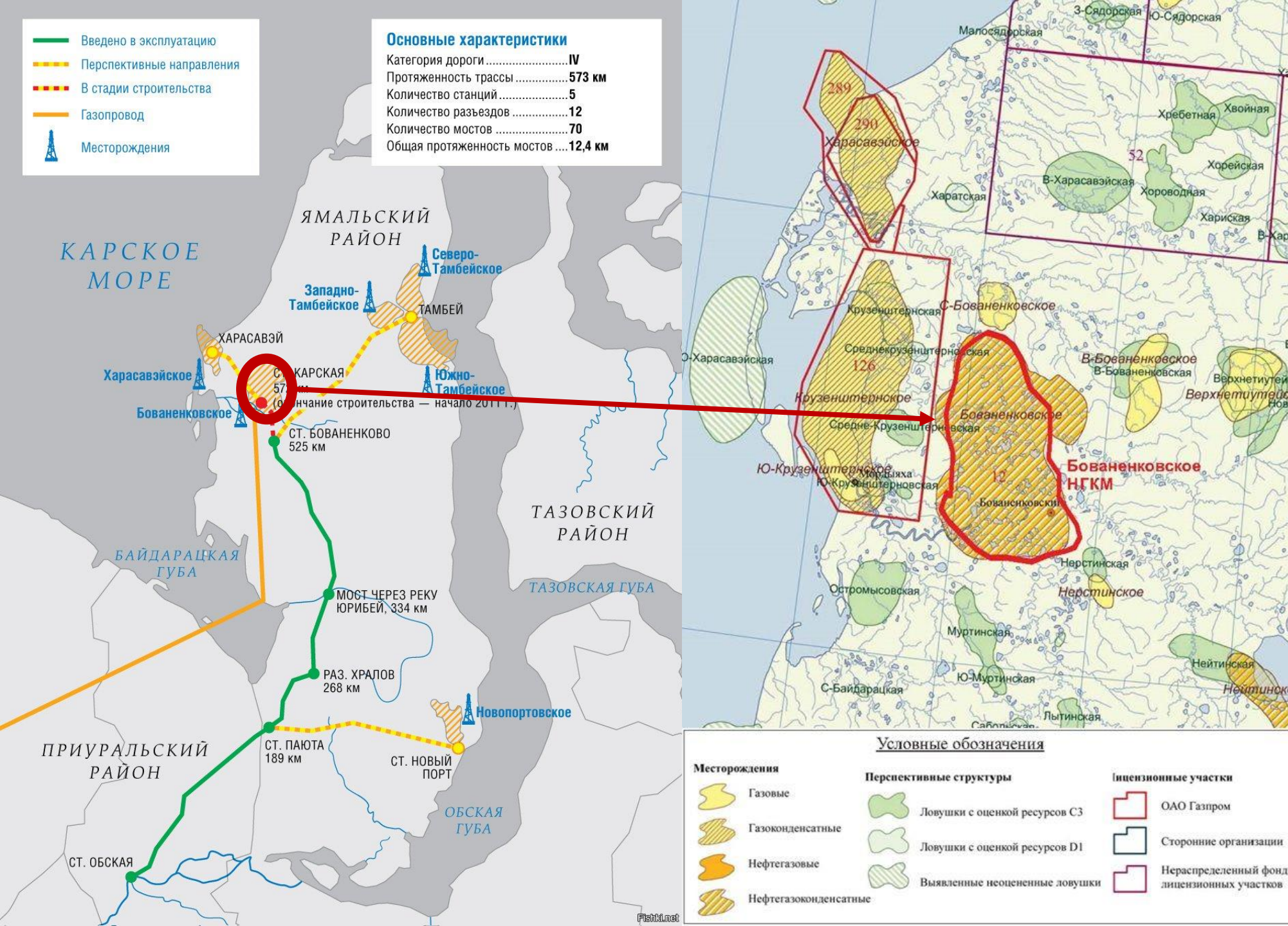
Разработка графа обработки (кросс-эквализации) наземных данных повторяющихся съемок для выделения 4D сигнала, несущего информацию о флюидонасыщении, на примере данных 2007 г. и 2022 г. нефтегазоконденсатного месторождения Бованенково.



Нефте-газо-конденсатное месторождение Бованенково

Крупнейшее газовое месторождение на полуострове Ямал в России.
Расположено в 40 км от побережья Карского моря.

Нефтегазоносность:
Средняя юра (байос) –
Верхний мел (сеноман)





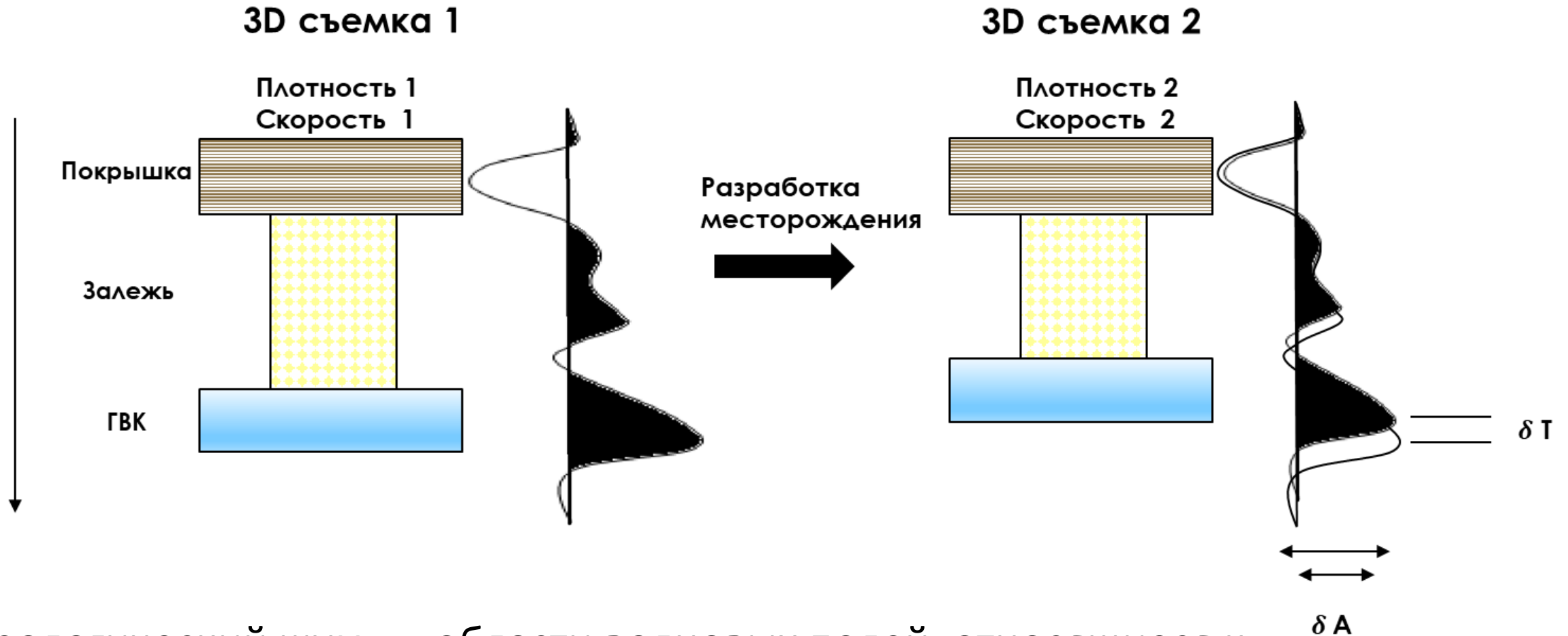
Повторяющиеся съемки

Сейсморазведка повторяющихся съемок, сейсморазведка 4D, сейсмический мониторинг, Time Lapse – обработка повторных 3D съемок для отображения изменений потока флюидов с течением времени.

Преимущества

- Оптимизации освоения залежей;
- Увеличение производительности разработки;
- Увеличение срока эксплуатации месторождения;
- Выявление и прогнозирование изменений внутри залежи.

Принцип сейсмического 4D мониторинга. 4D сигнал



«Геологический шум» – области волновых полей, относящиеся к геологической среде, не затрагиваемые разработкой.



Актуальность исследования

Сегодня технология 4D применяется преимущественно к морским данным. Основная причина - высокая производительность и низкая стоимость работ 3D на акваториях по сравнению с наземными.

Однако морские данные имеют важный недостаток:

Трудно обеспечить совпадение физических наблюдений в масштабе времени самой съемки и, соответственно, в масштабе времени мониторинга.

Положение пунктов приема изменяется в каждый момент времени взрыва не систематически.

В наземных данных изменения приборов в пространственном положении каждой съемки и относительно друг друга являются систематическими.

⇒ 4D обработка наземных данных является более оптимальной.

⇒ Актуальность обусловлена адаптацией технологии 4D на суше.



Кросс-эквализация

Кросс-эквализация (перекрестное выравнивание) – набор процедур, устраняющих систематические различия между съемками, которые возникают из-за неполного совпадения сейсмических съемок или обработки данных разных лет.

⇒ Кросс-эквализация = граф первичной обработки повторяющихся съемок.

В силу относительной новизны технологии наземного 4D мониторинга и разрозненности в тематических исследованиях, в отрасли пока что не разработан стандартный граф кросс-эквализации для наземных данных.



Граф обработки данных повторяющихся съёмок

Предобработка: бинирование, проверка правильности ввода геометрии, оценка качества данных, ввод поправки за рельеф.

Граф обработки (кросс-эквализация) включает в себя:

- Коррекцию линейных и перекрестных сдвигов во времени и фазе, статических временных сдвигов трассировки;
- Амплитудно-частотную балансировку;
- Фазовую коррекцию;

+ Адаптивное вычитание для выделения 4D сигнала



Алгоритм обработки данных в ПО ProMAX 4D

Flow Editor Navigator Flow Editor(AIB) Flow Editor(Add) Flow Editor(A)

*A_101_Input.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- Disk Data Input <- expls_5D_KTMig_stack_2fx
- Trace Header Math
- Trace Length
- Disk Data Output -> expl
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- broad_5D_KTMig_stack_2fx
- Trace Header Math
- Trace Length
- Disk Data Output -> broad

*A_102_AGC_SW.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- JavaSeis Data Input <- expl
- Automatic Gain Control
- TV Spectral Whitening
- JavaSeis Data Output -> expl_wh
- Add Flow Comment-----
- JavaSeis Data Input <- broad
- Automatic Gain Control
- TV Spectral Whitening
- JavaSeis Data Output -> broad_wh

*A_103_Pad.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- Disk Data Input <- broad_wh
- Pad 3D Stack Volume
- Disk Data Output -> broad_wh_pad
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_wh
- Pad 3D Stack Volume
- Disk Data Output -> expl_wh_pad

*A_104_Global_Shifts.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- Disk Data Input <- expl_wh_pad
- Disk Data Insert <- broad_wh_pad
- 4D Input Macro*
- 4D Compute Global Shifts
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_wh_pad
- 4D Apply Global Shifts
- Disk Data Output -> expl_wh_pad_gISh

*A_105_Differential_Statics.7 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

Java

- <FLOW>
- Disk Data Input <- expl_wh_pad_gISh
- Disk Data Insert <- broad_wh_pad
- 4D Differential Statics
- Disk Data Output -> expl_wh_pad_gISh_ds_1
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_wh_pad_gISh_ds_1
- Remove Padded Traces
- Trace Selection
- Disk Data Output -> expl_wh_gISh_ds

*A_106_Envelope.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- Disk Data Input <- broad_wh
- 4D Envelope
- Disk Data Output -> broad_envelope
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_wh_gISh_ds
- 4D Envelope
- Disk Data Output -> expl_envelope
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- broad_wh
- Disk Data Insert <- expl_wh
- 4D Amplitude Envelope Macro*
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- broad_wh
- Disk Data Insert <- expl_wh_gISh_ds
- 4D Amplitude Envelope Macro*

*A_107_Frequency_Balance.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

add

- <FLOW>
- Disk Data Input <- expl_wh_gISh_ds_AmpE
- Trace Header Math
- Disk Data Insert <- broad_wh
- 4D Frequency Balance
- IF
- Disk Data Output -> broad_fb5
- ELSE
- Disk Data Output -> expl_fb5
- ENDIF
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_wh_ampE
- Trace Header Math
- Disk Data Insert <- broad_wh
- 4D Frequency Balance
- IF
- Disk Data Output -> broad_fq5
- ELSE
- Disk Data Output -> expl_fq5
- ENDIF

*A_108_Differential_Phase.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- Disk Data Input <- expl_fb5
- Disk Data Insert <- broad_fb5
- 4D Differential Phase
- Disk Data Output -> expl_fb5_dpM
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_fq5
- Disk Data Insert <- broad_fq5
- 4D Differential Phase
- Disk Data Output -> expl_fq5_dpM

*A_109_Global_Gain.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

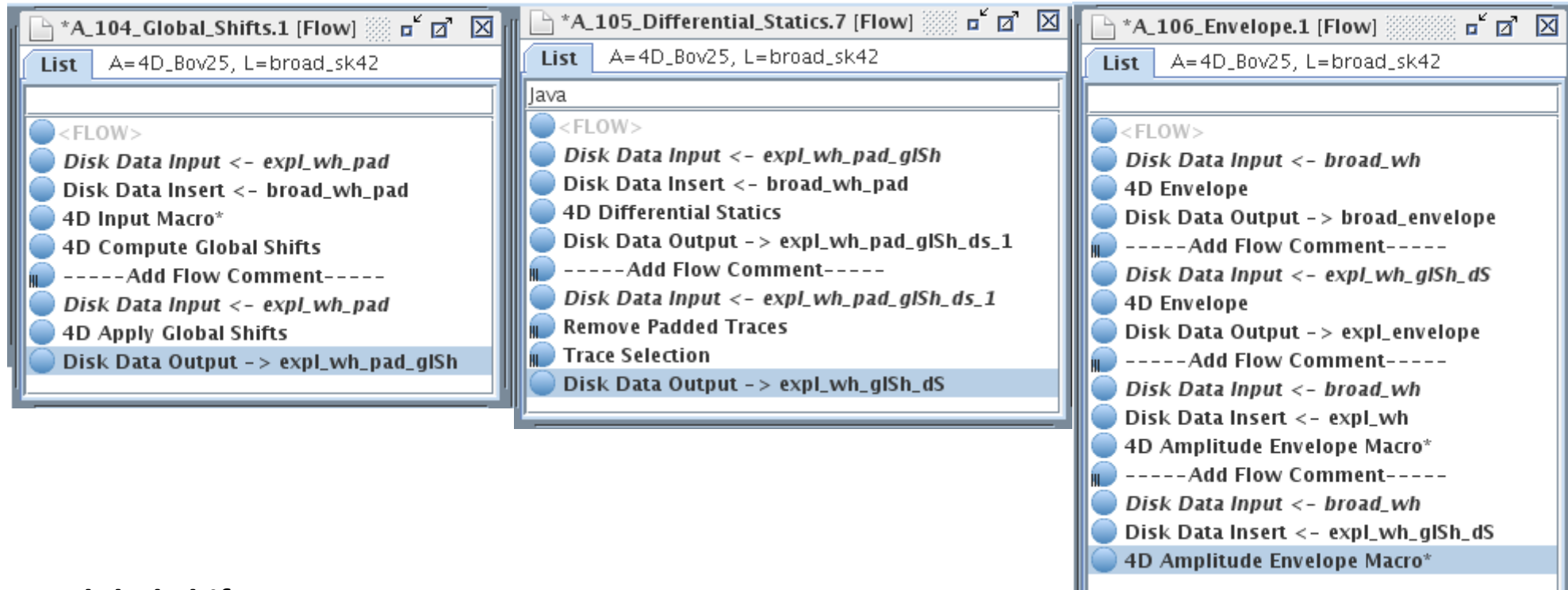
- <FLOW>
- Disk Data Input <- expl_fq5_dpM
- Disk Data Insert <- broad_fb5
- 4D Compute Global Gain
- Add Flow Comment-----
- Disk Data Input <- expl_fq5_dpM
- 4D Apply Global Gain
- Disk Data Output -> expl_fq5_dpMgG

*A_110_Cube_Math.1 [Flow] List A=4D_Bov25, L=broad_sk42

- <FLOW>
- Disk Data Input <- broad_fq5
- Disk Data Insert <- expl_fq5_dpMgG
- 4D Cube Math
- Disk Data Output -> broad-expl_fq5dpM



Алгоритм обработки данных в ПО ProMAX 4D



Global Shifts - Коррекция линейных и перекрестных сдвигов во времени и фазе, поиск из оптимальных комбинаций

Differential Statics - вычисление и применение временных сдвигов трассировки

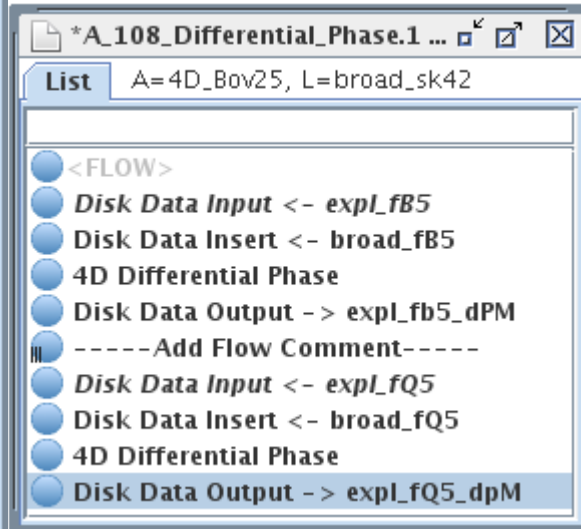
Envelope – расчет огибающей амплитуды в качестве первого шага в процессе перекрестного выравнивания амплитуд между двумя наборами данных



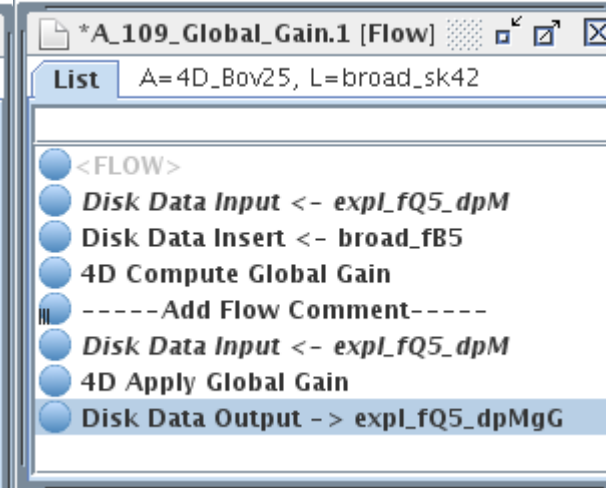
Алгоритм обработки данных в ПО ProMAX 4D



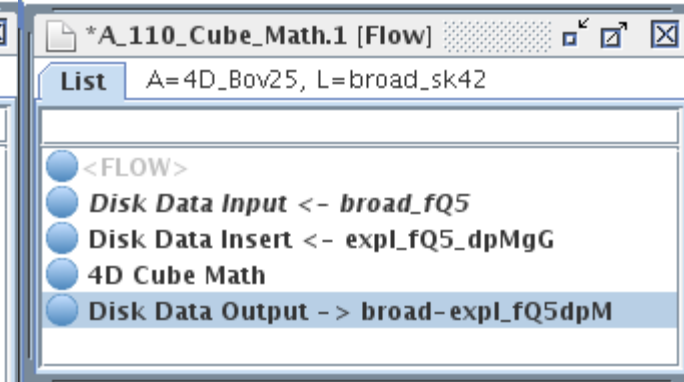
Frequency Balance -
балансировка амплитудных
спектров для создания общего
амплитудного спектра



Differential Phase –
вычисление и применение
фазовых сдвигов
трассировок



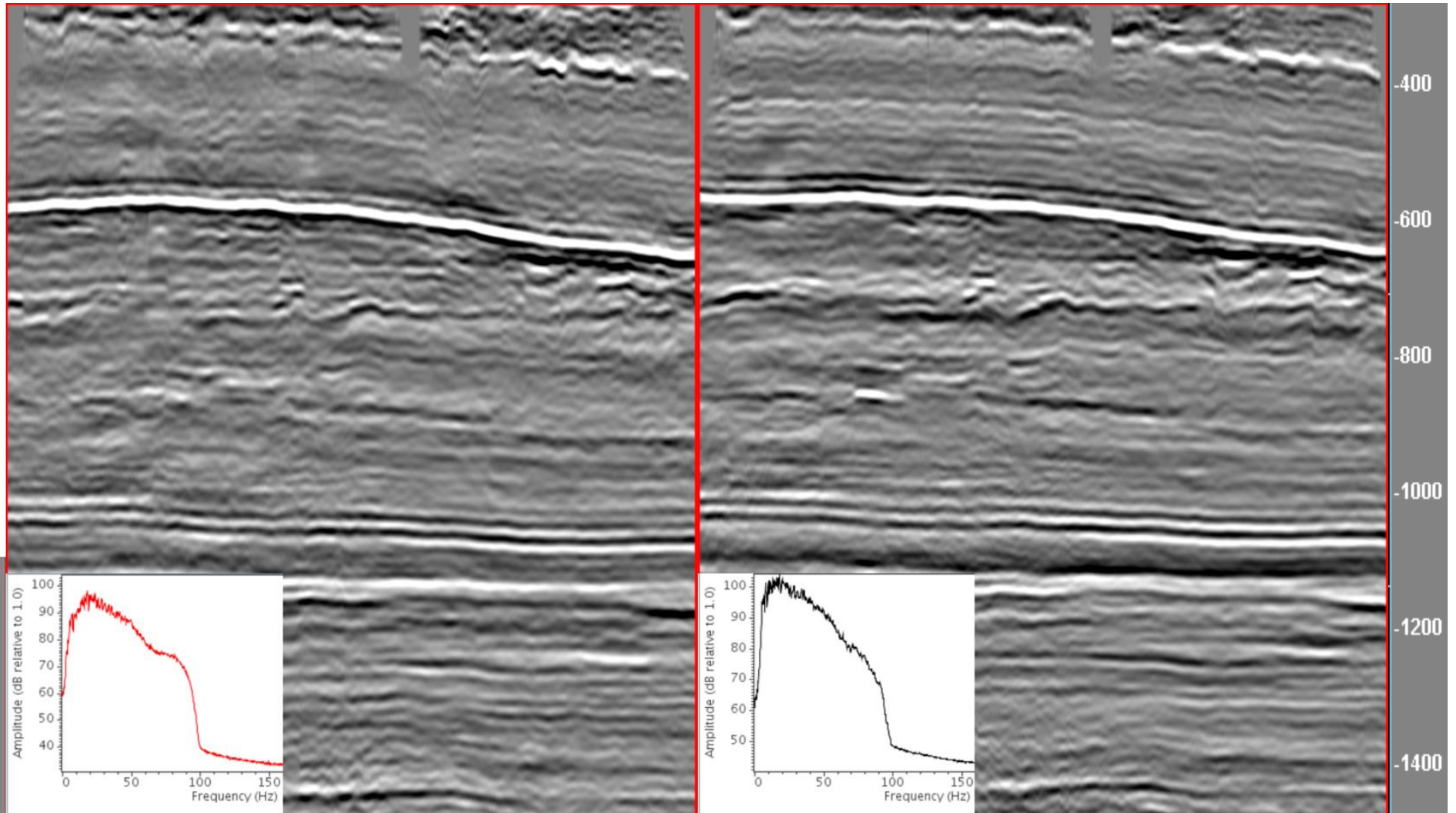
Global Gain – вычисление
единого коэффициента
усиления, который
минимизирует разницу
амплитуд между двумя
наборами данных.



Cube Math – адаптивное
вычитание одного набора
данных из другого,
получение 4D-сигнала



Фрагменты временных кубов до кросс-эквализации

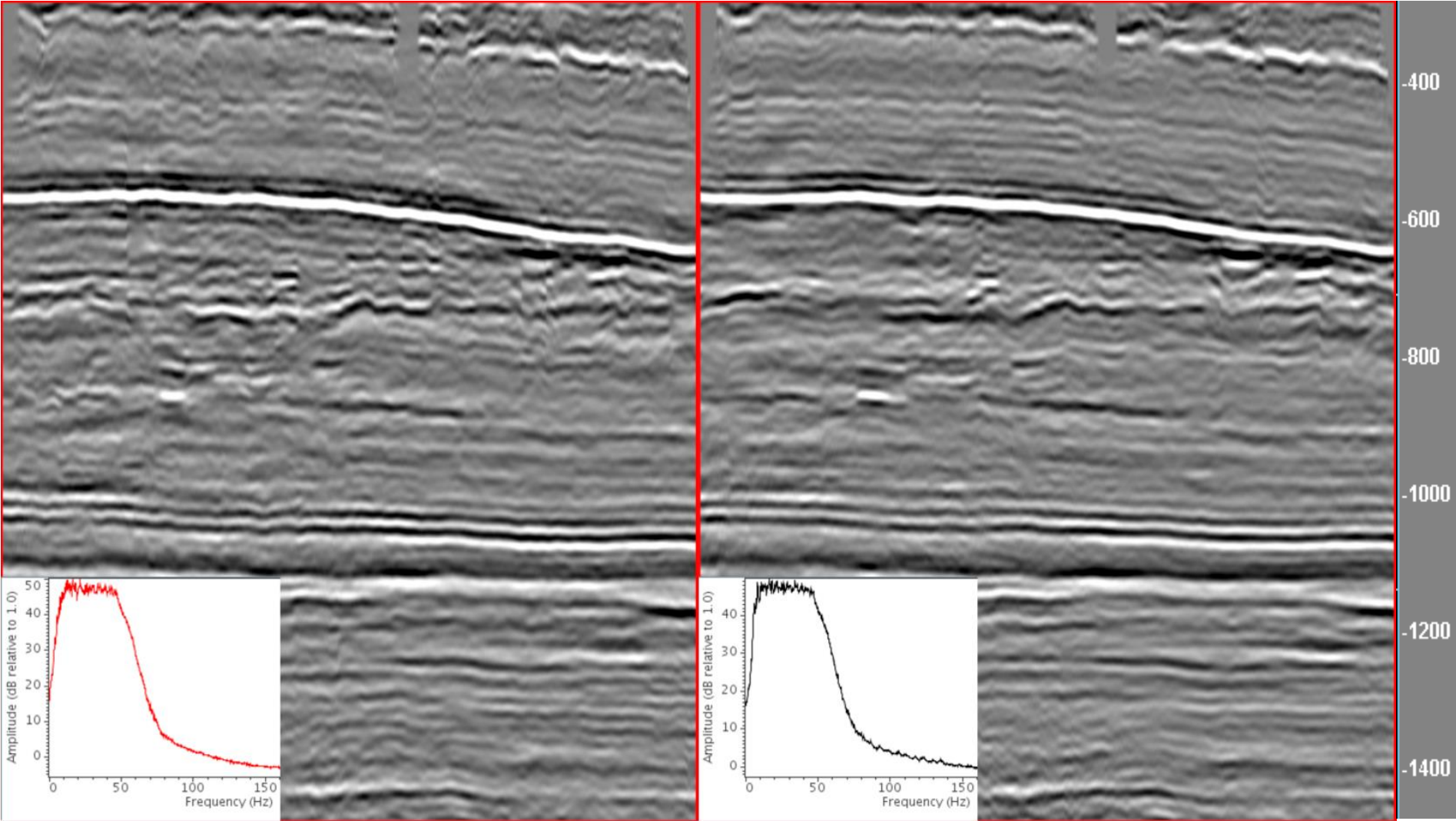


2007 г.

2022 г.

t, ms

Фрагменты временных кубов после кросс-эквализации

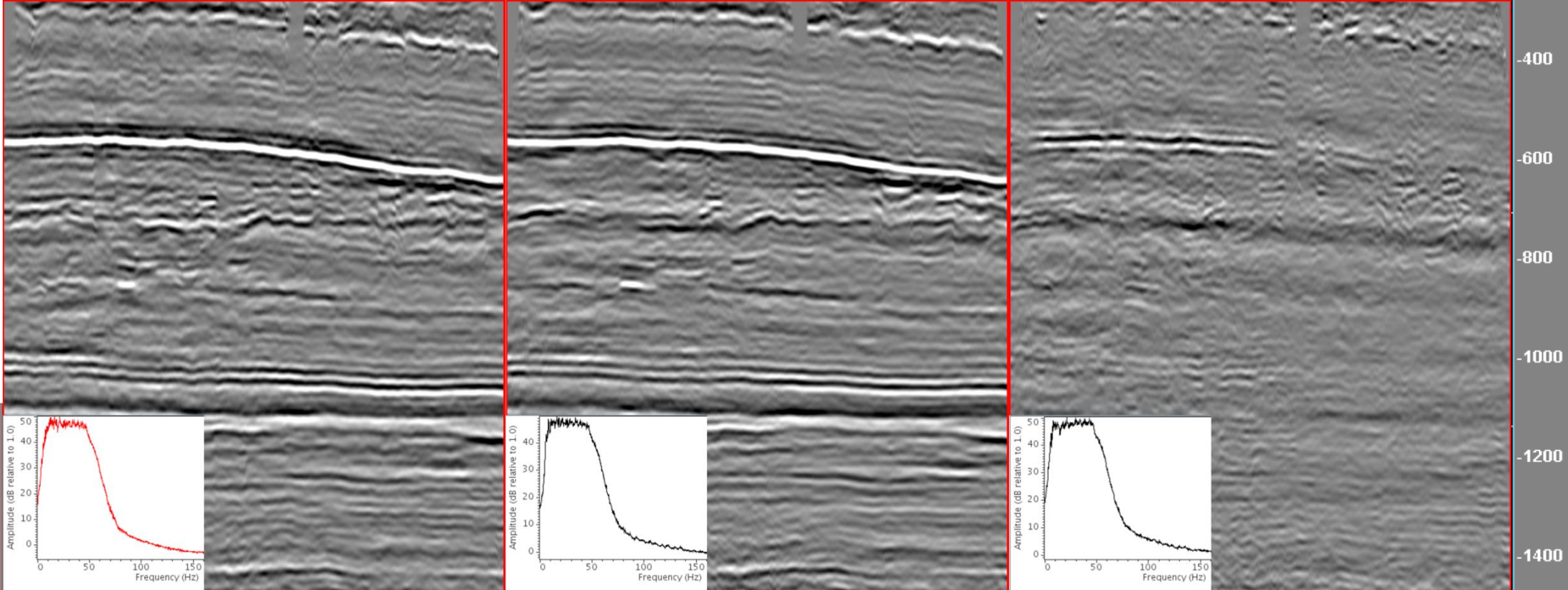


2007 г.

2022 г.

t, ms

Фрагменты временных кубов после кросс-эквализации



2007 г.

2022 г.

4D сигнал

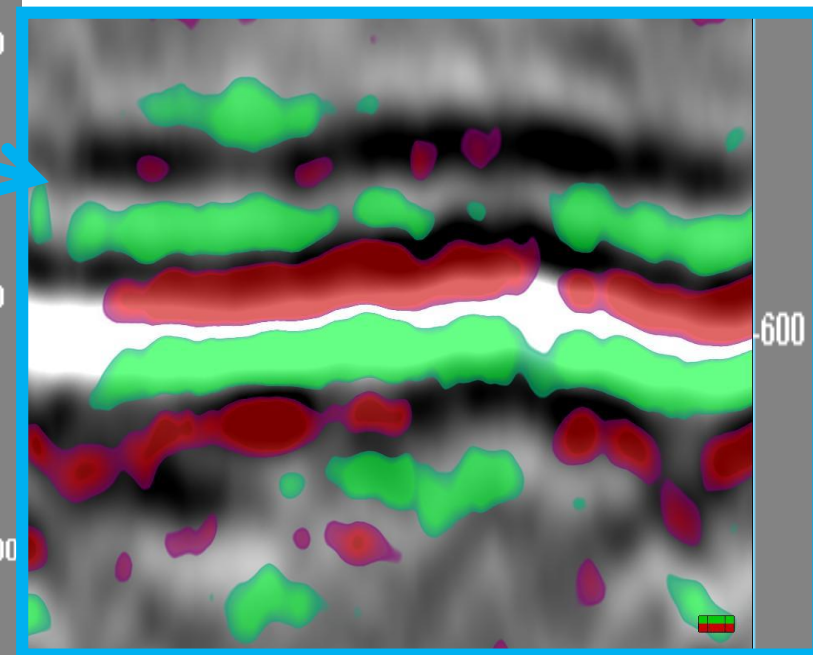
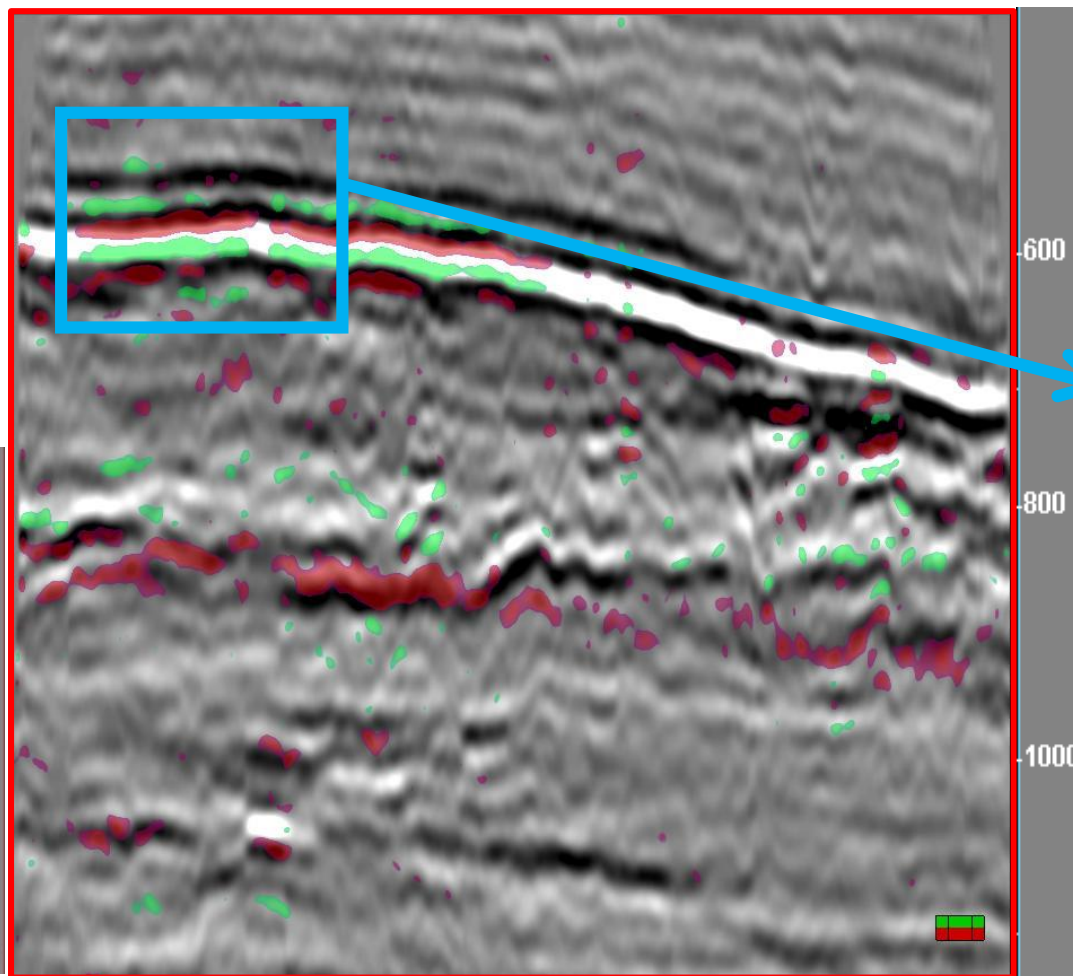
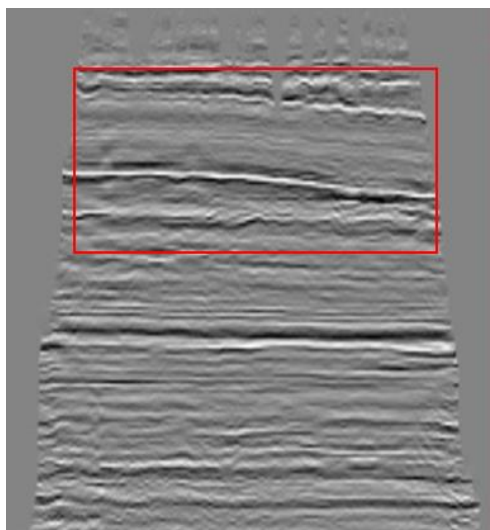
t, ms

Фрагмент временного куба (2022 г.) после кросс-эквализации с наложением 4D сигнала



Красное – положительные амплитуды

Зеленое – отрицательные амплитуды



t, ms

2022 г.

t, ms



Визуализация и расчёт карт атрибутов в ПО Petrel

В ПО Petrel были рассчитаны карты сейсмической атрибута - среднеквадратической амплитуда, и визуализирован 4D сигнал

RMS – атрибут учитывает все значения амплитуд в заданном окне вне зависимости от знака сигнала.

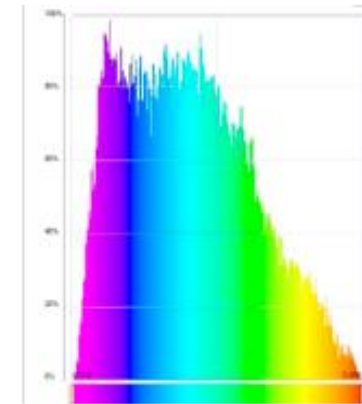
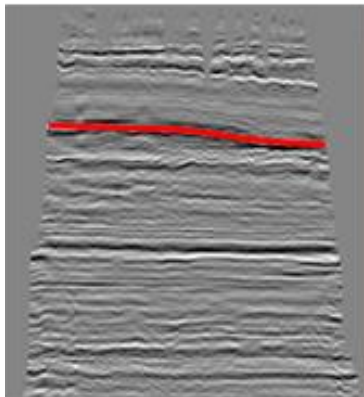
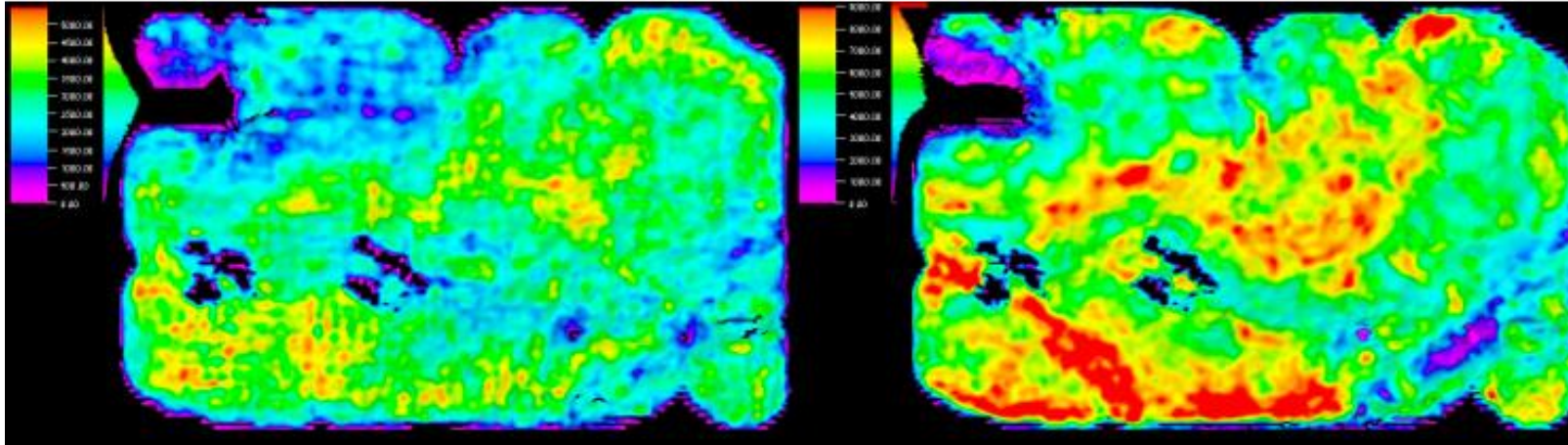
=> Атрибут 4D сигнала определяет изменение энергии сейсмического сигнала и подчеркивает даже незначительные изменения амплитуд.



Карты RMS амплитуд вдоль горизонта по кубам до кросс-эквализации

2007 г.

2022 г.



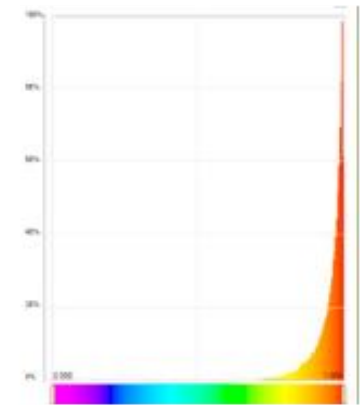
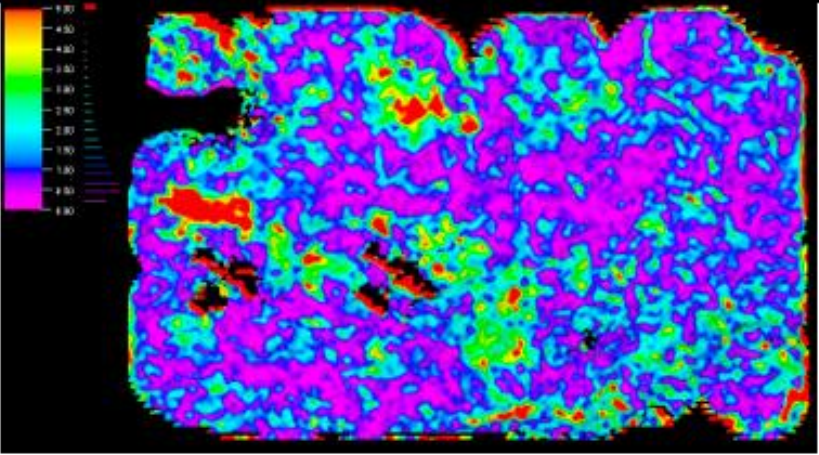
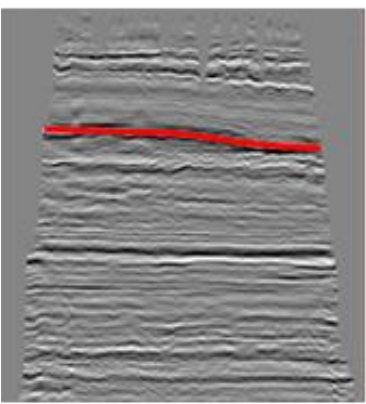
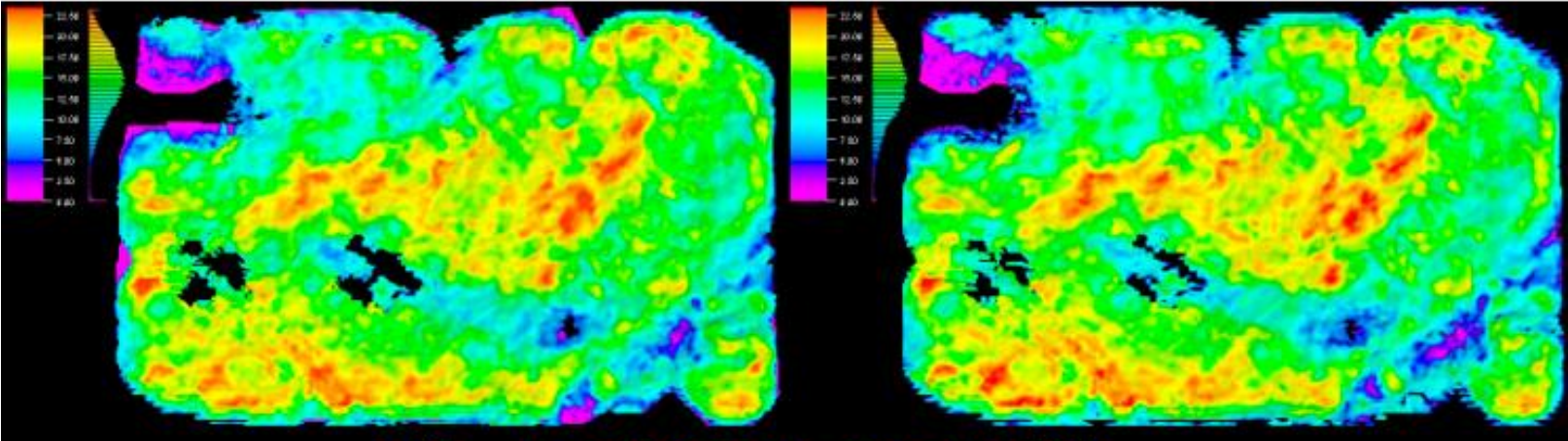
Гистограмма
коэффициентов
корреляции карт RMS

Карты RMS амплитуд вдоль горизонта по кубам после кросс-эквализации и 4D сигнал



2007 г.

2022 г.



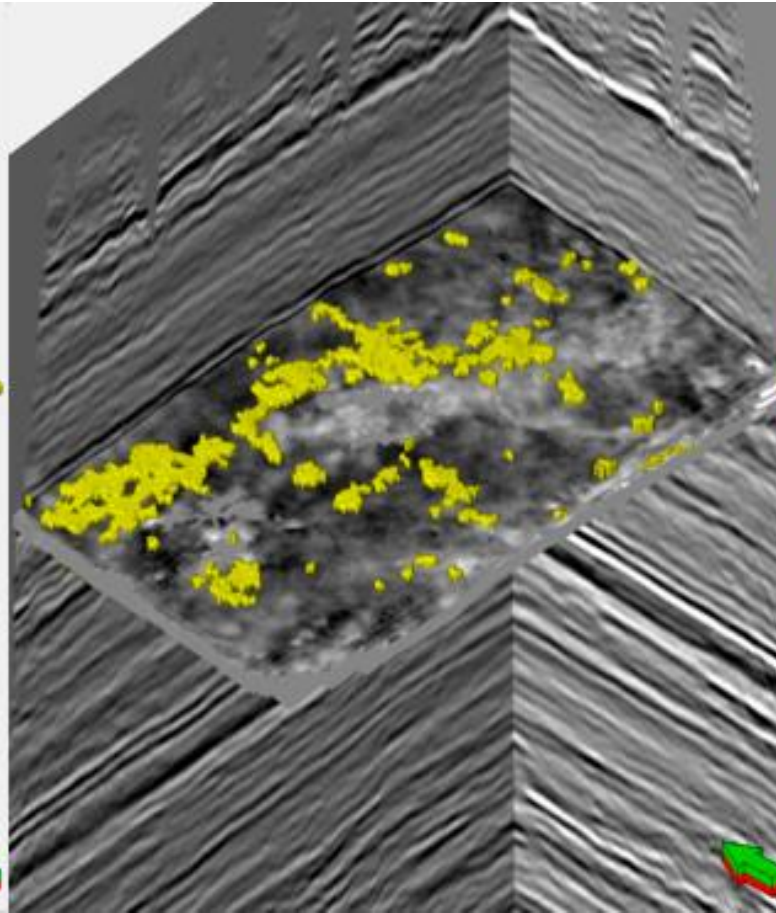
4D сигнал

Гистограмма
коэффициентов
корреляции карт RMS

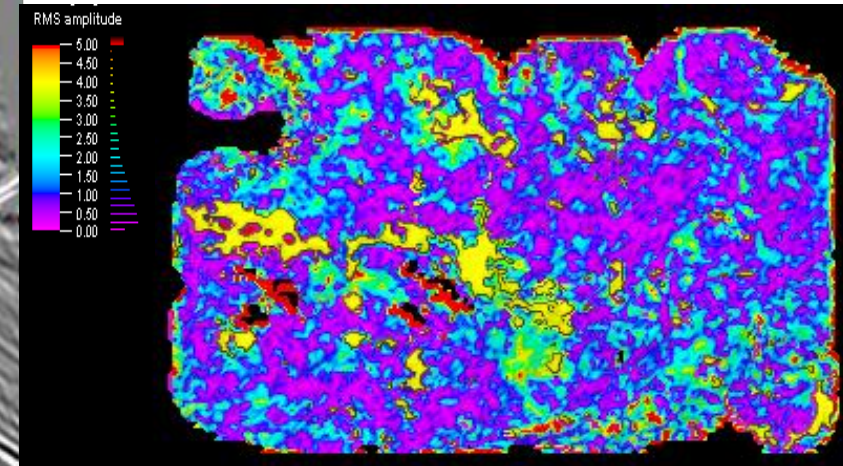
Выделение объёмов повышенных значений амплитуд 4D сигнала в пространстве с помощью карты RMS амплитуд



4D сигнал



**Куб времен с
4D сигналом**



**Карта RMS амплитуд по
горизонту с наложением
4D сигнала**



Выводы

- Составлен граф обработки повторяющихся наземных сейсмических съемок, который обеспечивает выделение 4D сигнала.
- Выработана методика, которая позволяет устранить все факторы, связанные с влиянием геологических особенностей, выделив только фактор флюидонасыщения.
- Применены средства геологической интерпретации для интерпретации 4D сигнала.
- Впервые наглядно продемонстрировано, что материалы наземной сейсморазведки могут быть использованы для сейсмического мониторинга.



Спасибо за внимание!