

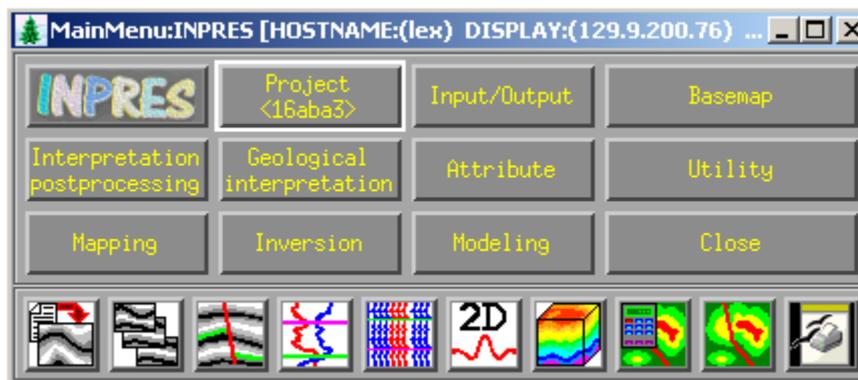


Система ИНПРЕС: эффективное решение задач сейсмической интерпретации

Ахметова Э.Р. ,ЦГЭ

Гарнов А.В. ,ЦГЭ

Функциональные возможности базовой версии программного комплекса ИНПРЕС :



1. Ввод геолого-геофизической информации
2. Дополнительная обработка геофизических данных
3. Сейсмическое моделирование
4. Геологическая интерпретация 2D/3D
5. Картопостроение: расчет, визуализация и редакция
6. Построение скоростной и глубинной модели 2D/3D
7. Рекурсивная инверсия (псевдоакустический каротаж)
8. Расчет и анализ сейсмических атрибутов
9. Экспорт результатов интерпретации
10. Вывод результатов интерпретации на печать

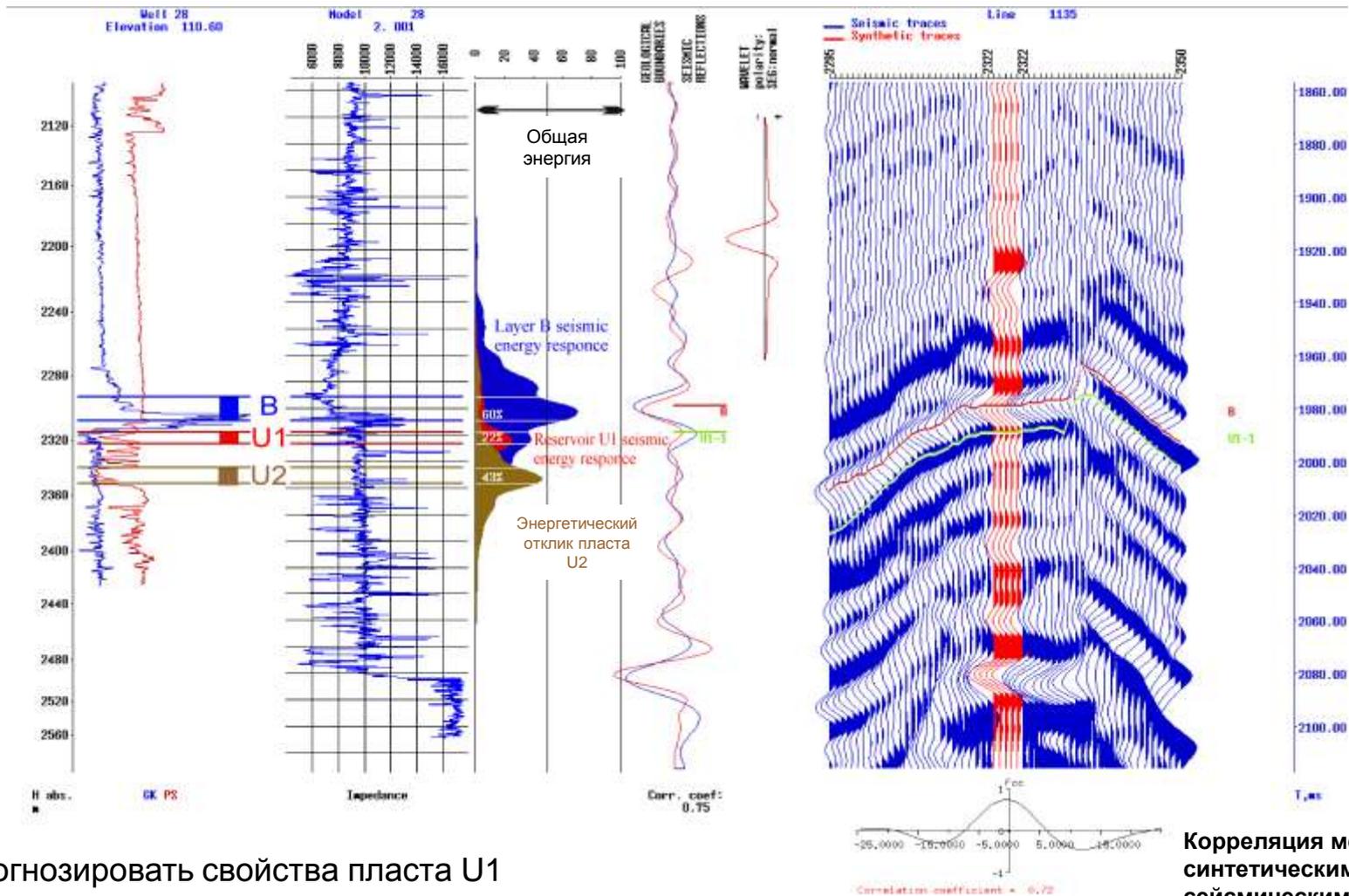
- сейсмических разрезов/кубов формата SEG Y;
- предварительная редакция SEG Y 2D
(запись в заголовки трасс площадных координат, номеров CDP и CMP);
- каротажных диаграмм формата LAS/ASCII;
- годографов сейсмокаротажа в формате ASCII;
- результатов интерпретации данных каротажа
(отметки, пористость, проницаемость и т.д);
- импорт карт, горизонтов, разломов из общепринятых форматов других геофизических систем (Petrel, Paradigm, Hampson-Russel)

- медианная фильтрация
- зональная FK-фильтрация сейсмических данных



- выравнивание разрезов разных съемок 2D по амплитудному, частотному составу;
- фильтрация каротажных кривых;

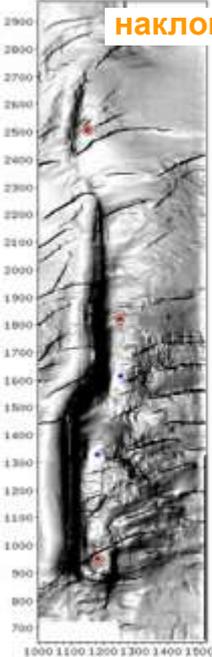
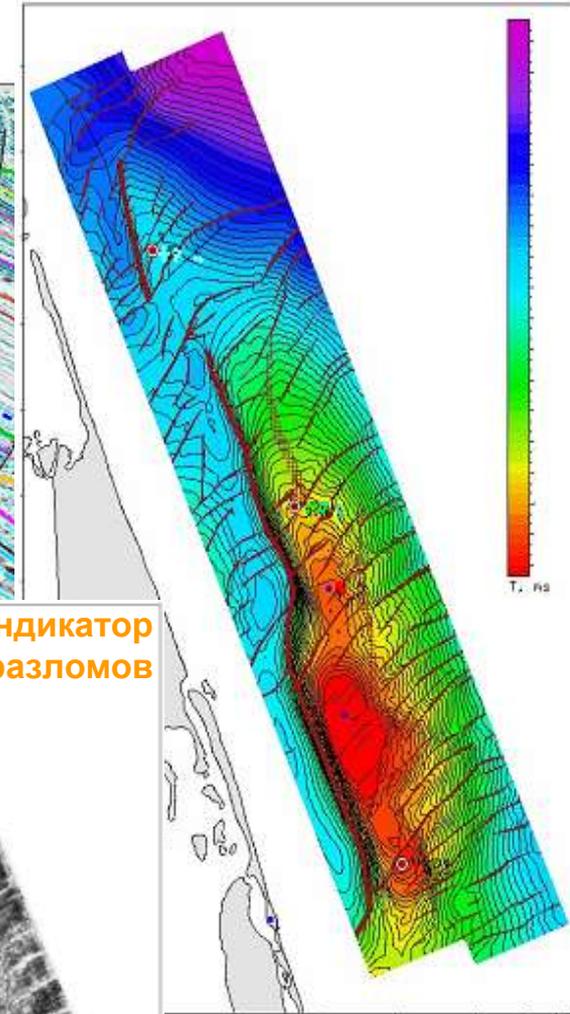
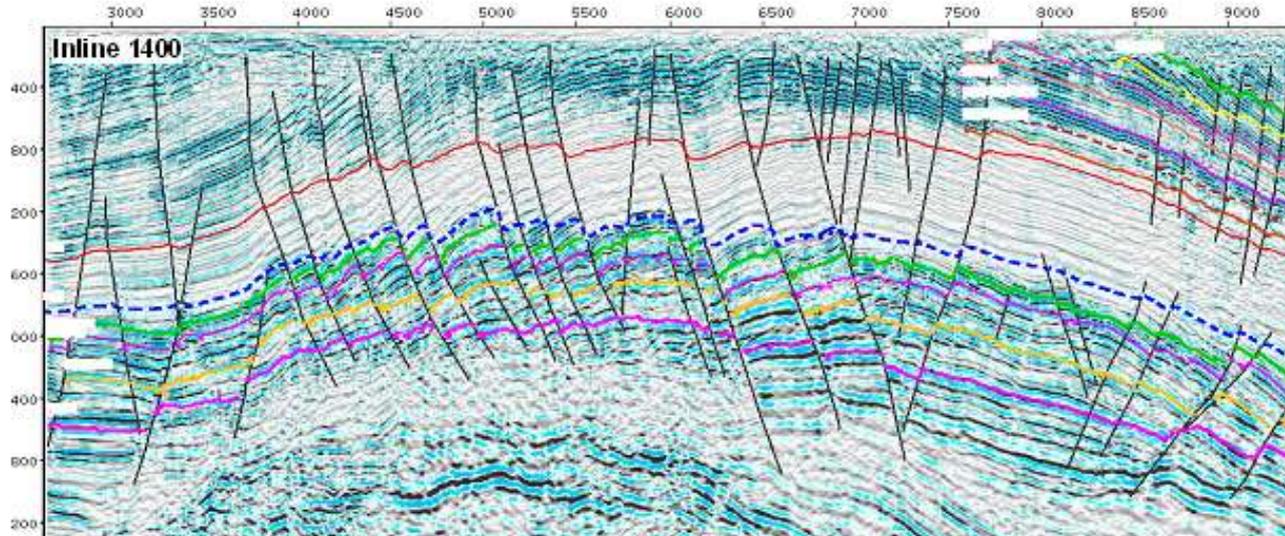
Стратиграфическая привязка волн с диагностикой геологической информативности отражений и их атрибутов



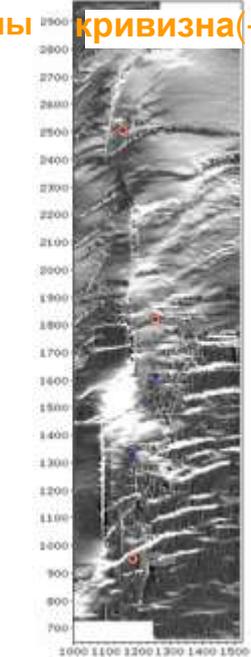
Прогнозировать свойства пласта U1 возможно только с помощью инверсии, анализ сейсмический атрибутов бесполезен для этого слоя

Корреляция между синтетическими и сейсмическими трассами

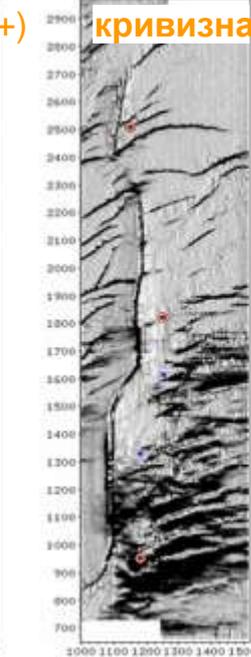
Корреляция (ручная, полуавтоматическая или автоматическая) сейсмических границ



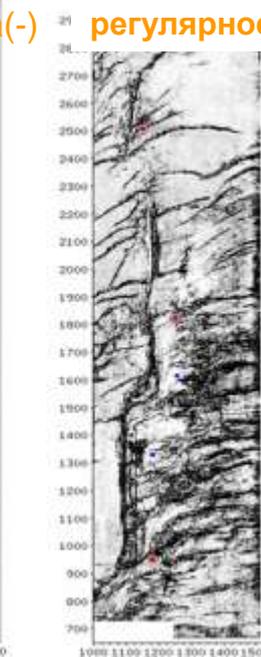
наклоны



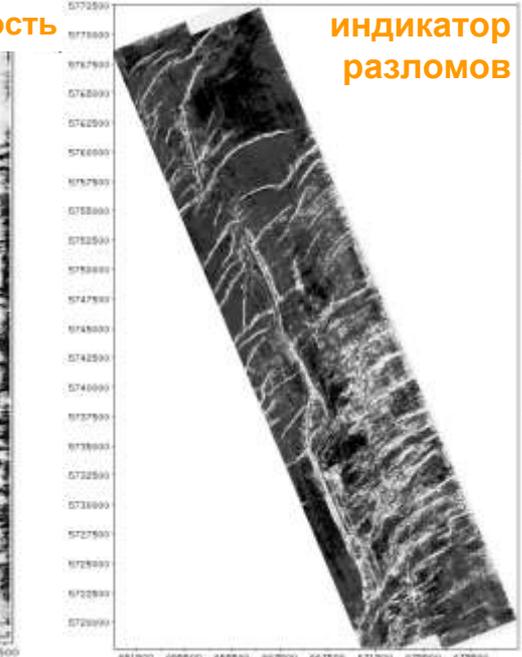
кривизна(+)



кривизна(-)



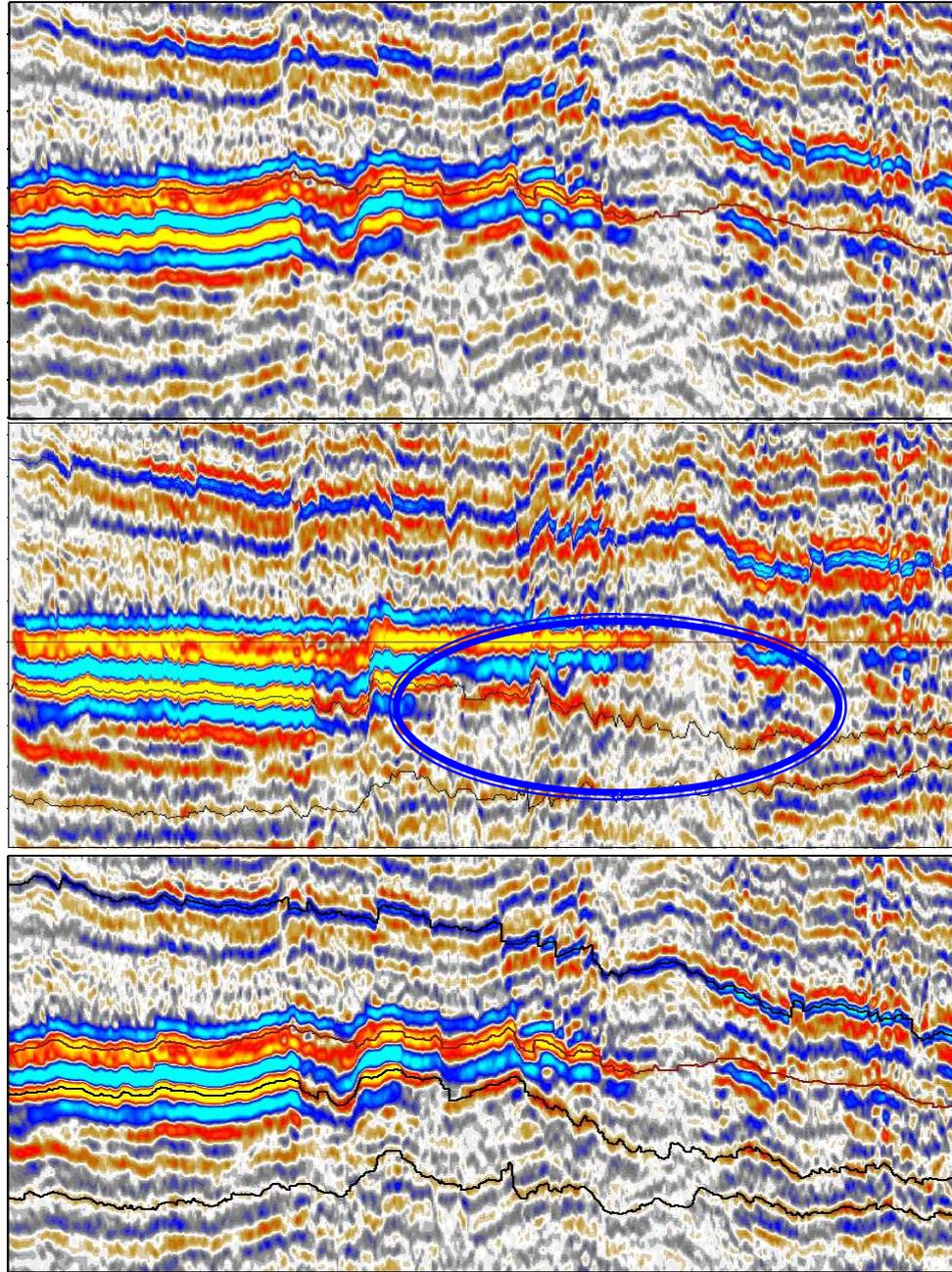
регулярность

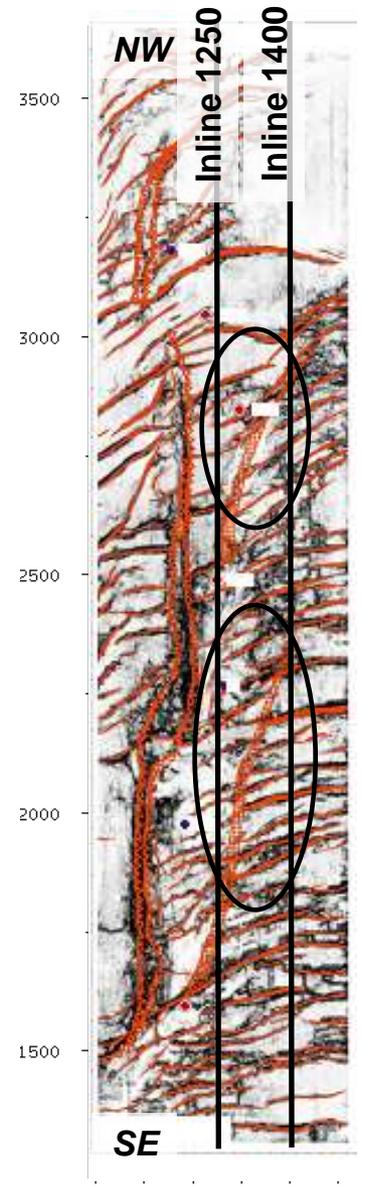
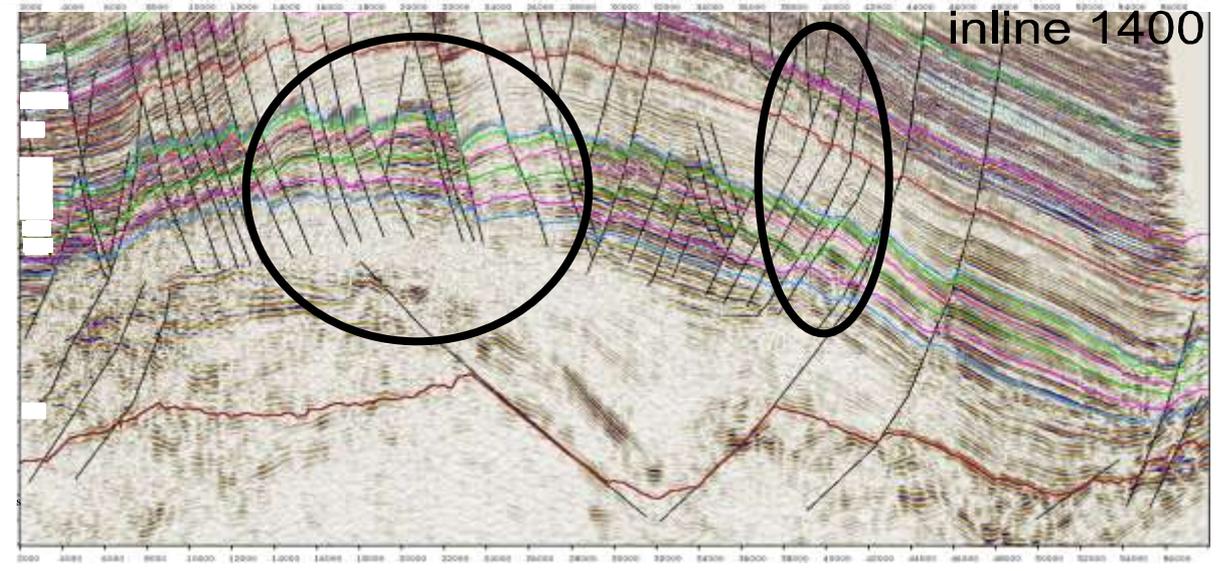
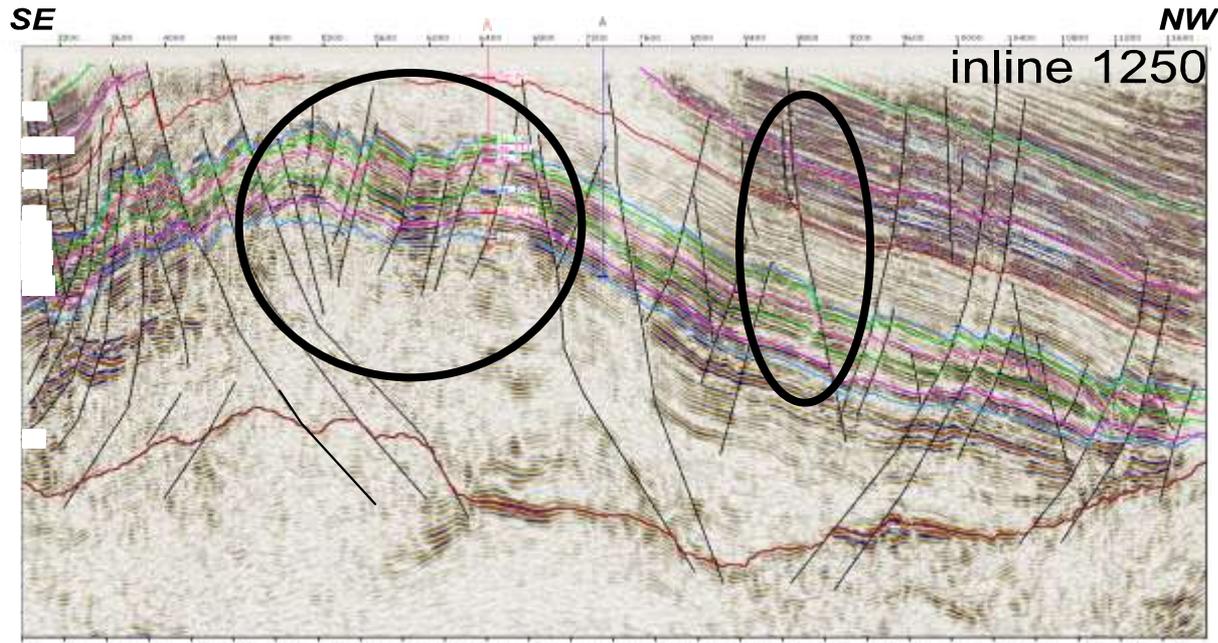


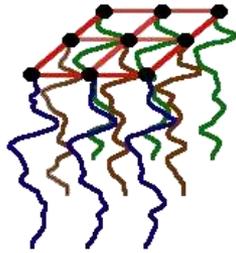
индикатор разломов

Выявление и трассирование разломов









$$A = \begin{bmatrix} \tau & \dots & \tau \\ \rho & \dots & \rho \\ \alpha & \dots & \alpha \\ \sigma & \dots & \sigma \\ \alpha & \dots & \alpha \\ 1 & \dots & M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{M1} \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{1N} & \dots & f_{MN} \end{bmatrix}$$

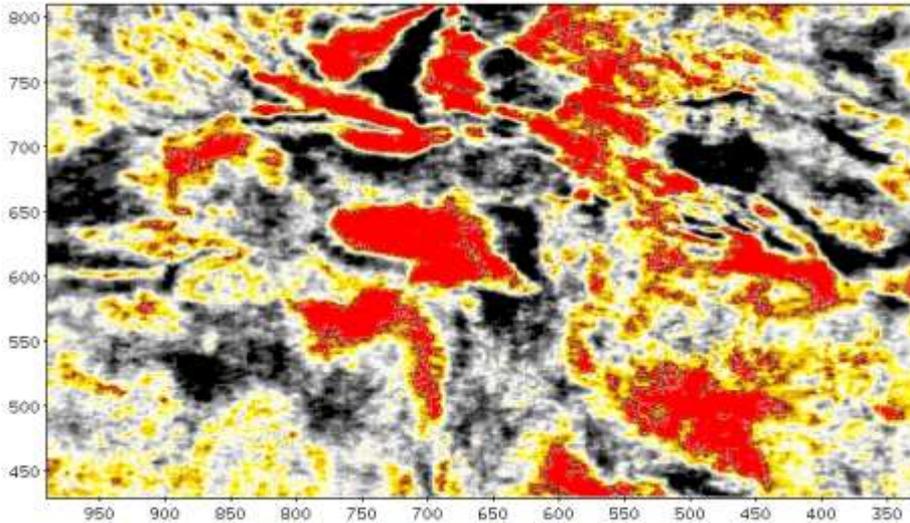
$$C = A \cdot A^T$$

$$S_{reg} = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^M \lambda_i}$$

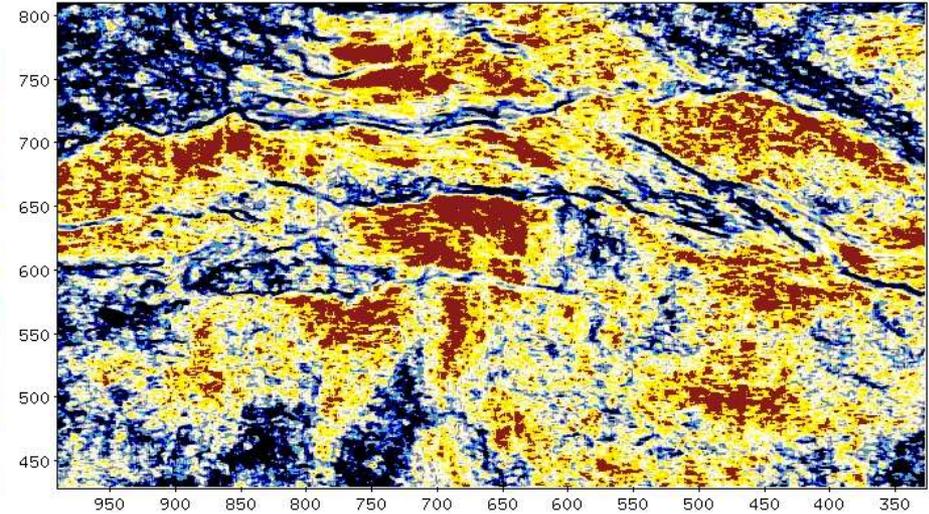
- ковариационная матрица

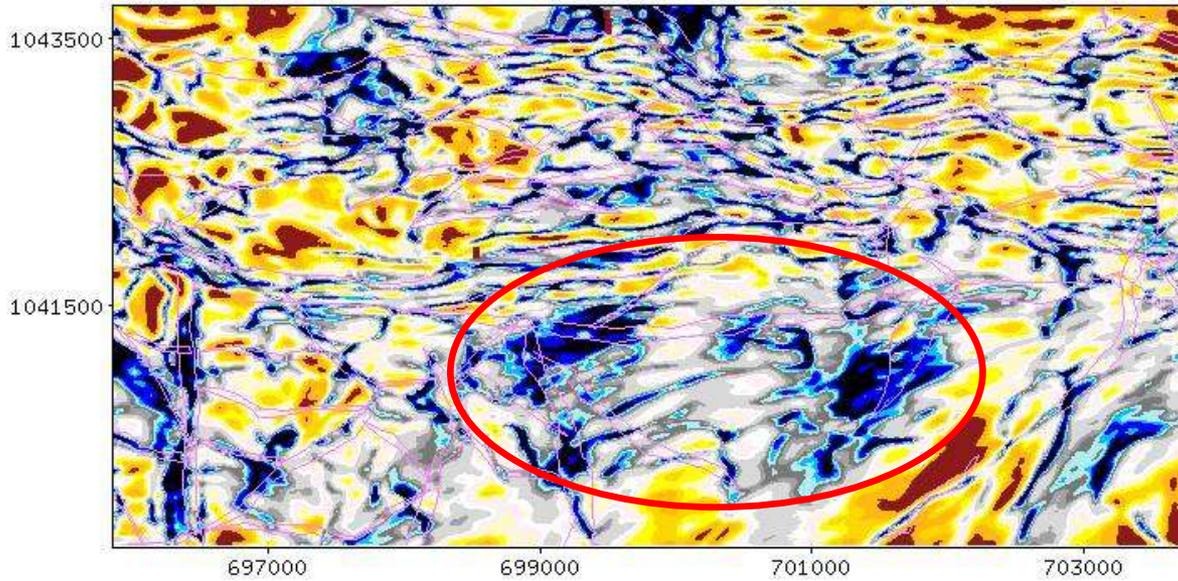
- мера регулярности, λ - собственные числа
где

Слайс сейсмического куба

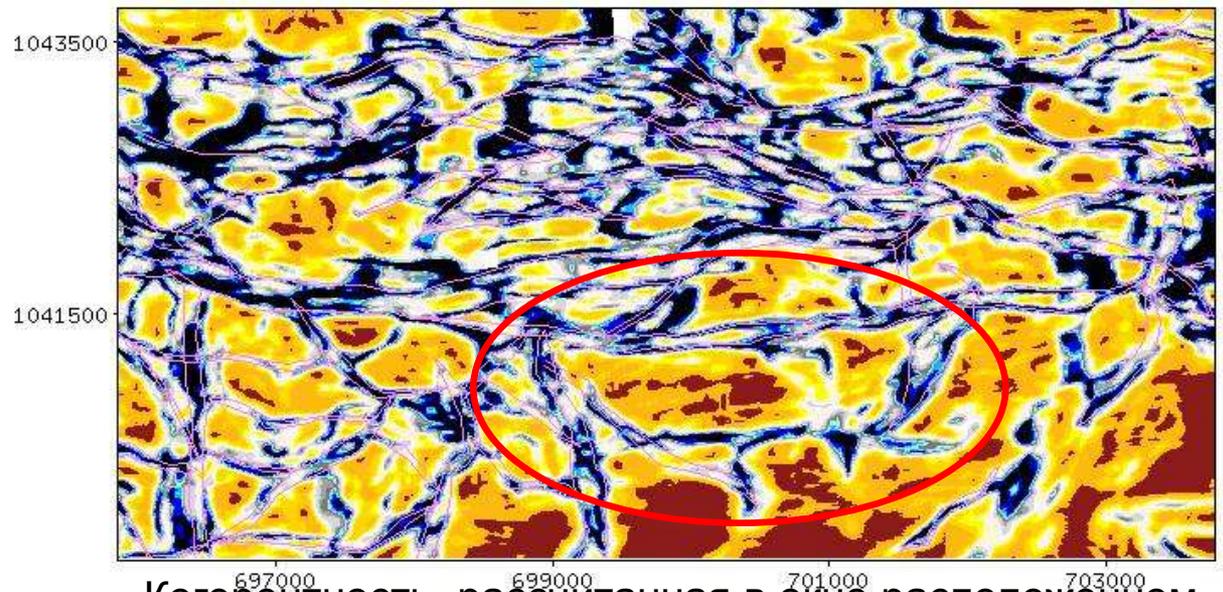


Слайс куба регулярности





Когерентность,
рассчитанная в
горизонтальном окне

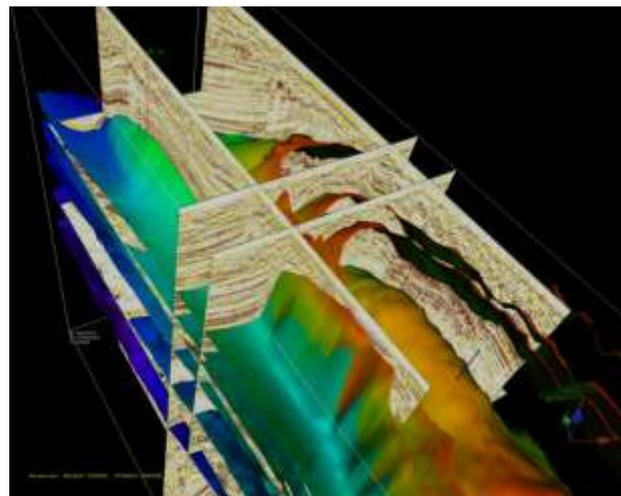


Когерентность, рассчитанная в окне расположенном
вдоль горизонта

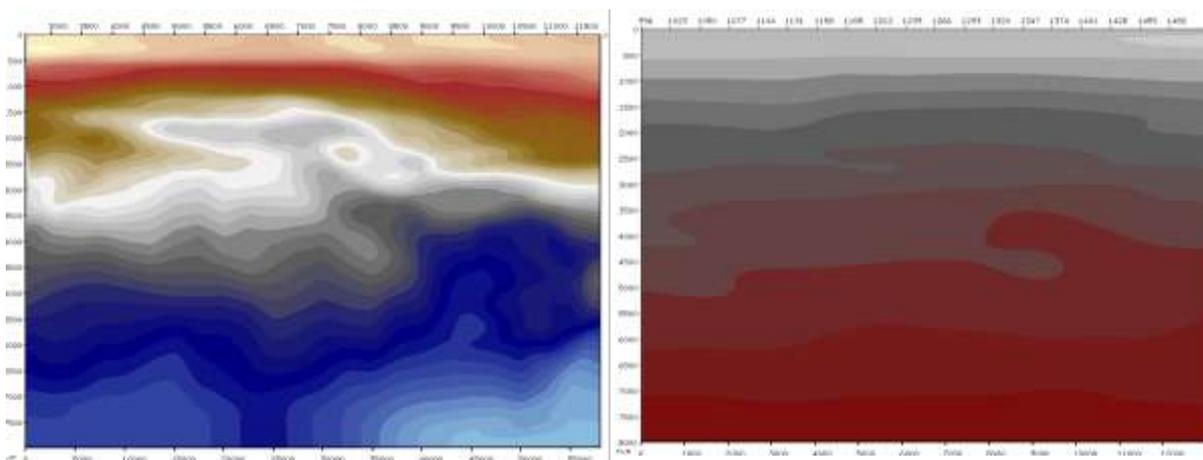
- расчет разрезов/кубов интервальных и средних скоростей;
- пересчет результатов интерпретации из временного в глубинный масштаб;

Исходные данные:

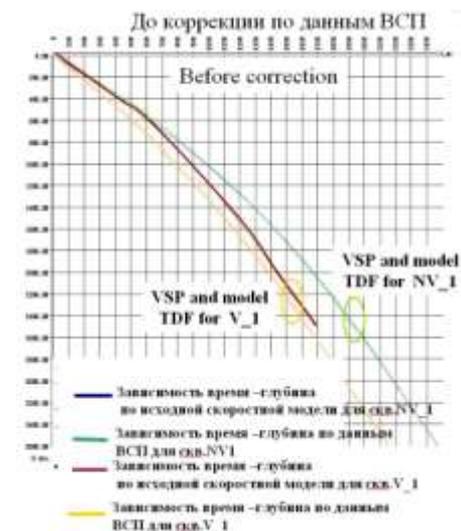
Месторождение
на шельфе в Охотском море



Модель скоростей миграции до суммирования



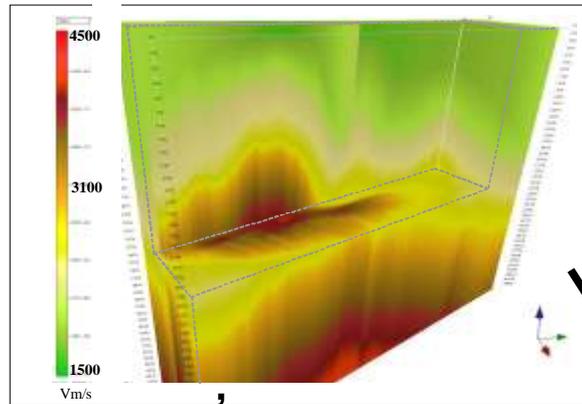
Данные ВСП по 3 скважинам



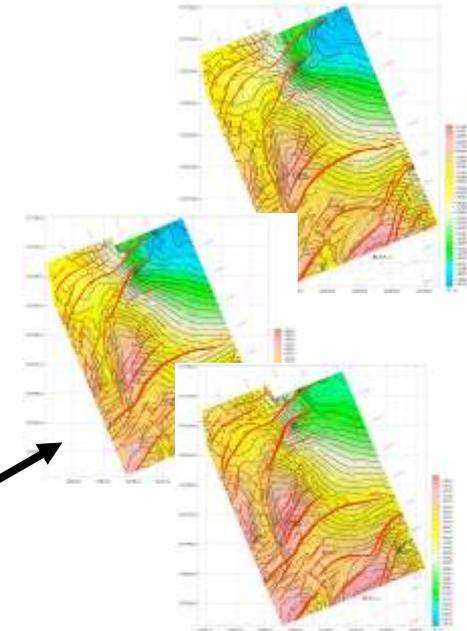
Пересчет в приближенную модель средних скоростей

$$V_{aver}(T_0) = \sqrt{V_{migr}^2(T_0) - \frac{\sum V_i \Delta t_i}{T_0}}$$

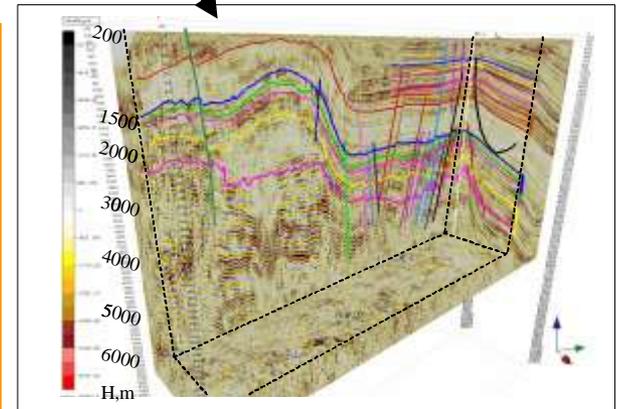
Уточнение куба средних скоростей кригингом с учетом данных ВСП



Куб средних скоростей



Глубинные структурные карты



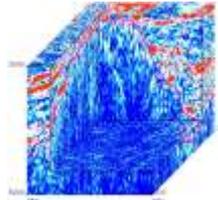
Сейсмический куб в глубинном масштабе



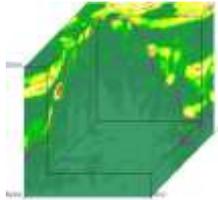
В основе геостатистики — вариограммный анализ (кригинг). Как правило, объекты, явления и процессы, которые расположены ближе в пространстве, являются более подобными между собой сравнительно с теми, которые более удалены друг от друга. Вариограмма - график, который показывает зависимость между дисперсией признака в определенных точках и расстоянием между последними. Эта зависимость используется для предсказания значений в других местоположениях, то есть при пространственной интерполяции.

Расчет и анализ сейсмических атрибутов

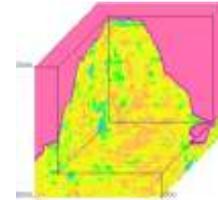
мгновенная амплитуда



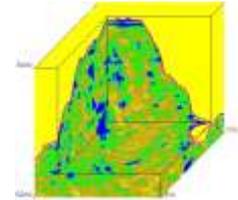
энергия регулярных отражений



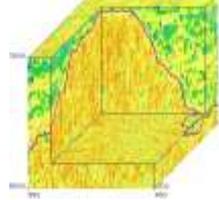
энергия нерегулярных отражений



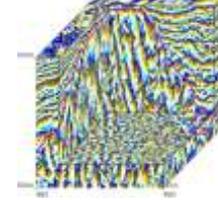
отношение регулярной/нерегулярной энергии



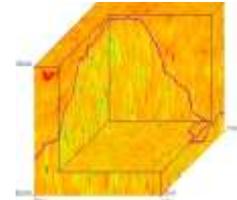
мгновенная частота



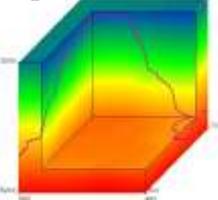
мгновенная фаза



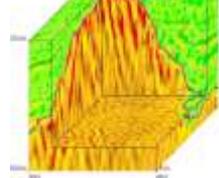
отношение энергий низких/высоких частот



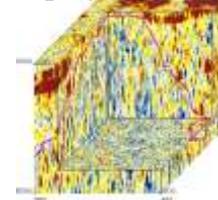
горное давление



акустический импеданс



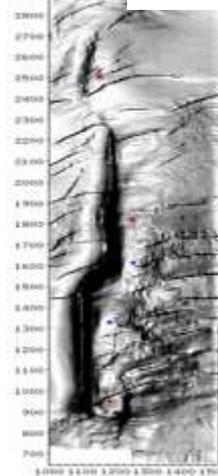
регулярность



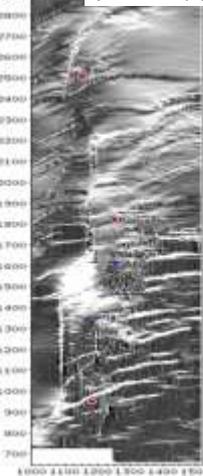
и другие...

Геометрические атрибуты вдоль горизонта

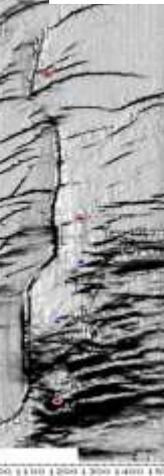
наклоны



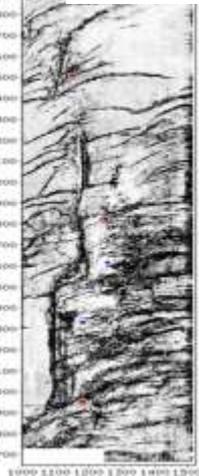
кривизны(+)



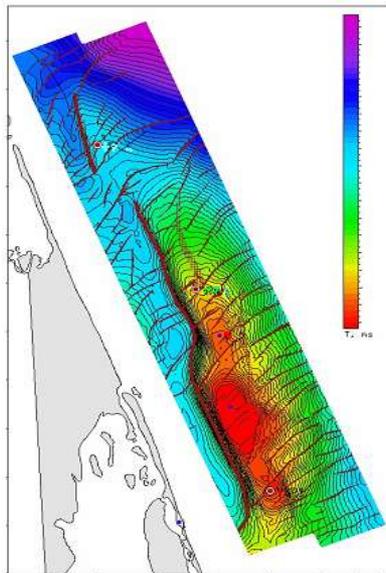
кривизны(-)



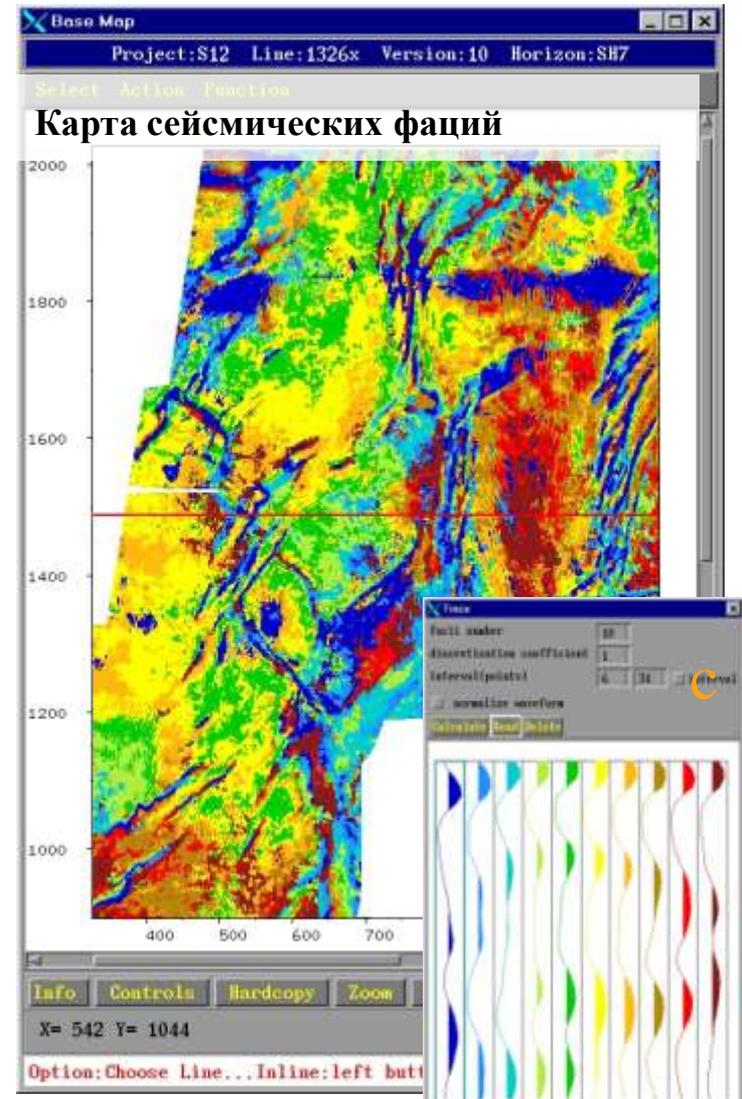
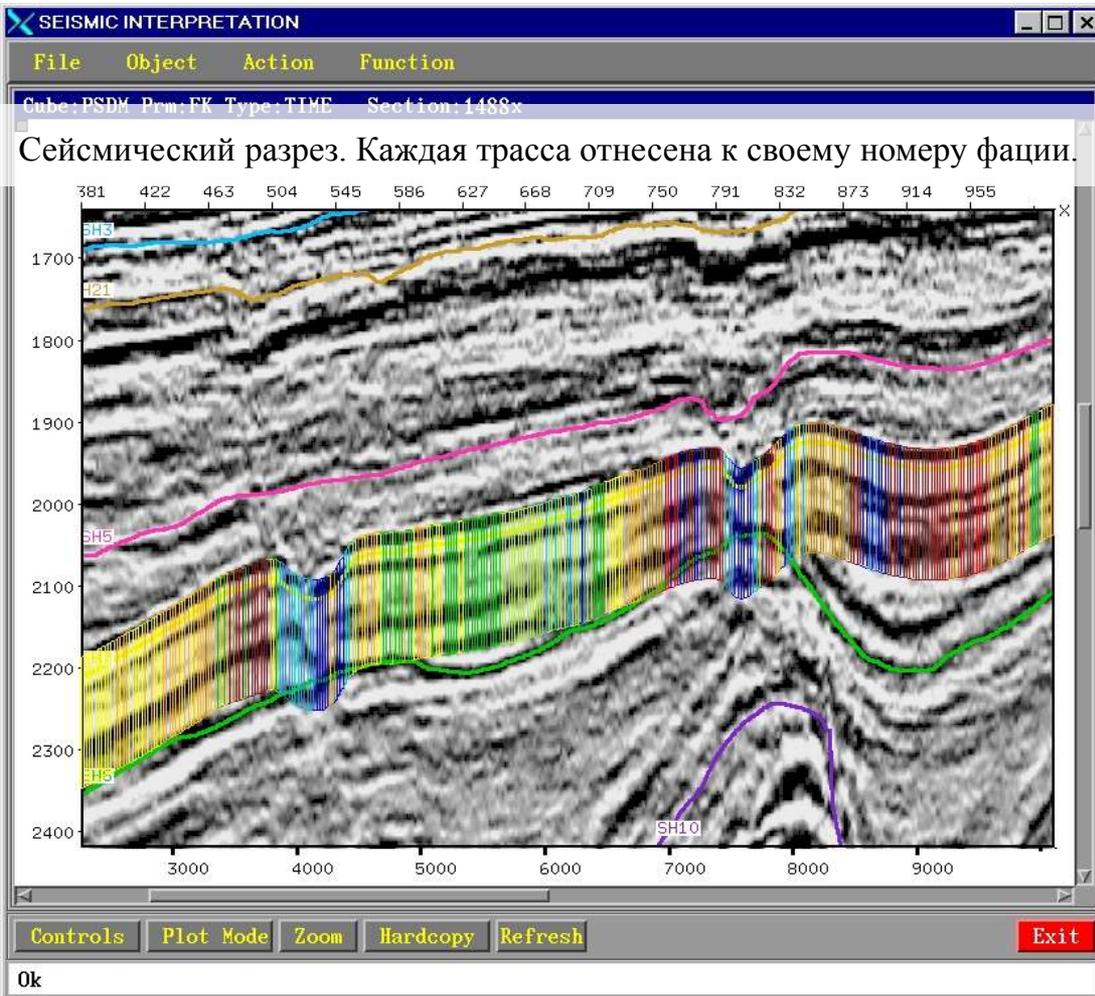
регулярность



расчет разрезов/кубов мгновенных параметров (мгновенные амплитуды, частоты, фазы)
построение разреза/куба когерентности, энергии волнового поля, отношения регулярной/нерегулярной энергии;
анализ карт сейсмических атрибутов (анализ корреляционных связей, расчет карт обобщенного атрибута методом главных компонент, кластеризация сейсмических атрибутов (нейронная сеть Кохонена));



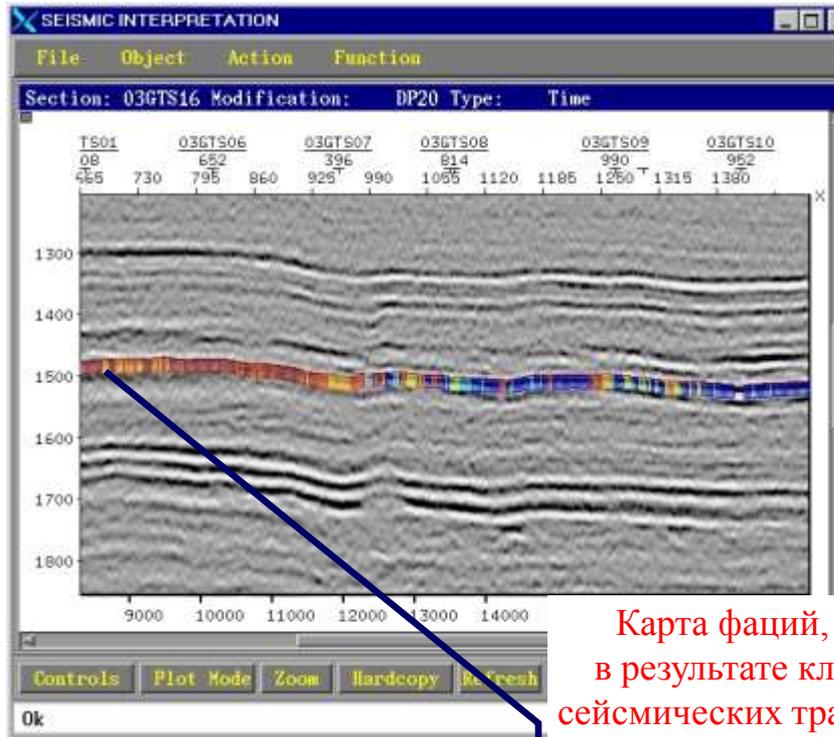
Сейсмофациальный анализ 3D



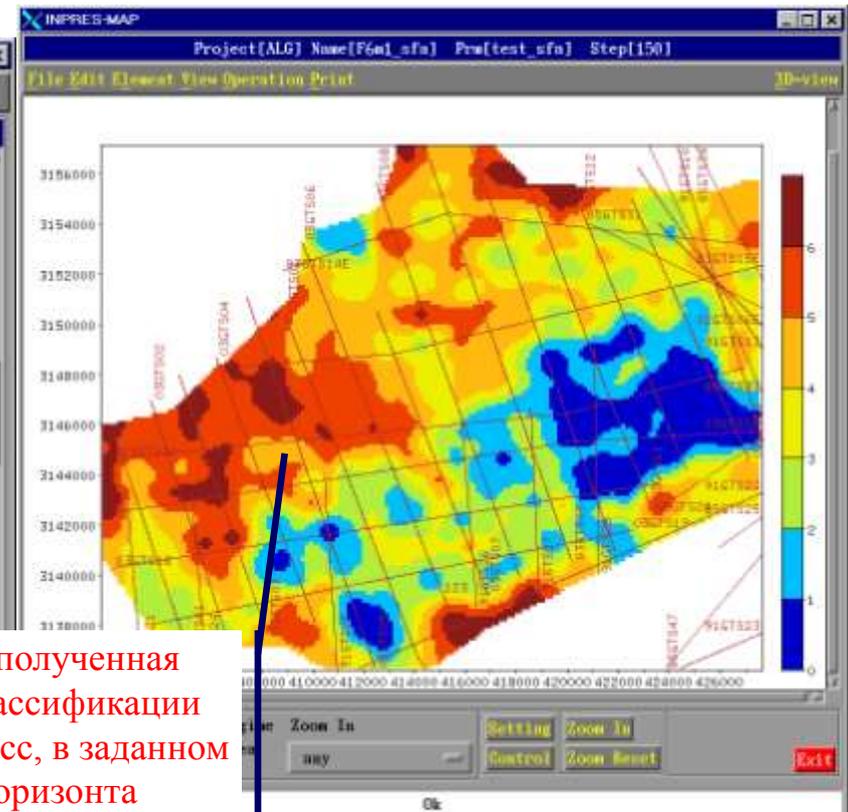
Трассы, характеризующие фации

Расчет и анализ сейсмических атрибутов

Сейсмофациальный анализ 2D



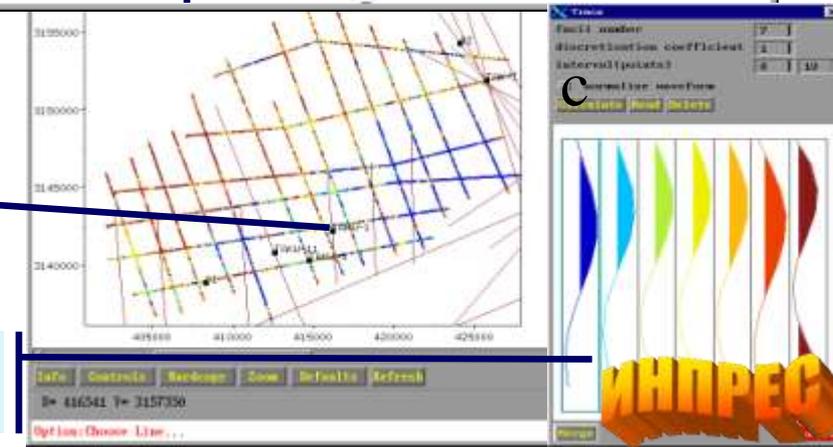
Сейсмический разрез, каждая трасса отнесена к определенной фации по форме колебаний



Карта фаций, полученная в результате классификации сейсмических трасс, в заданном окне вдоль горизонта

Схема распределения фаций вдоль линий профилей;

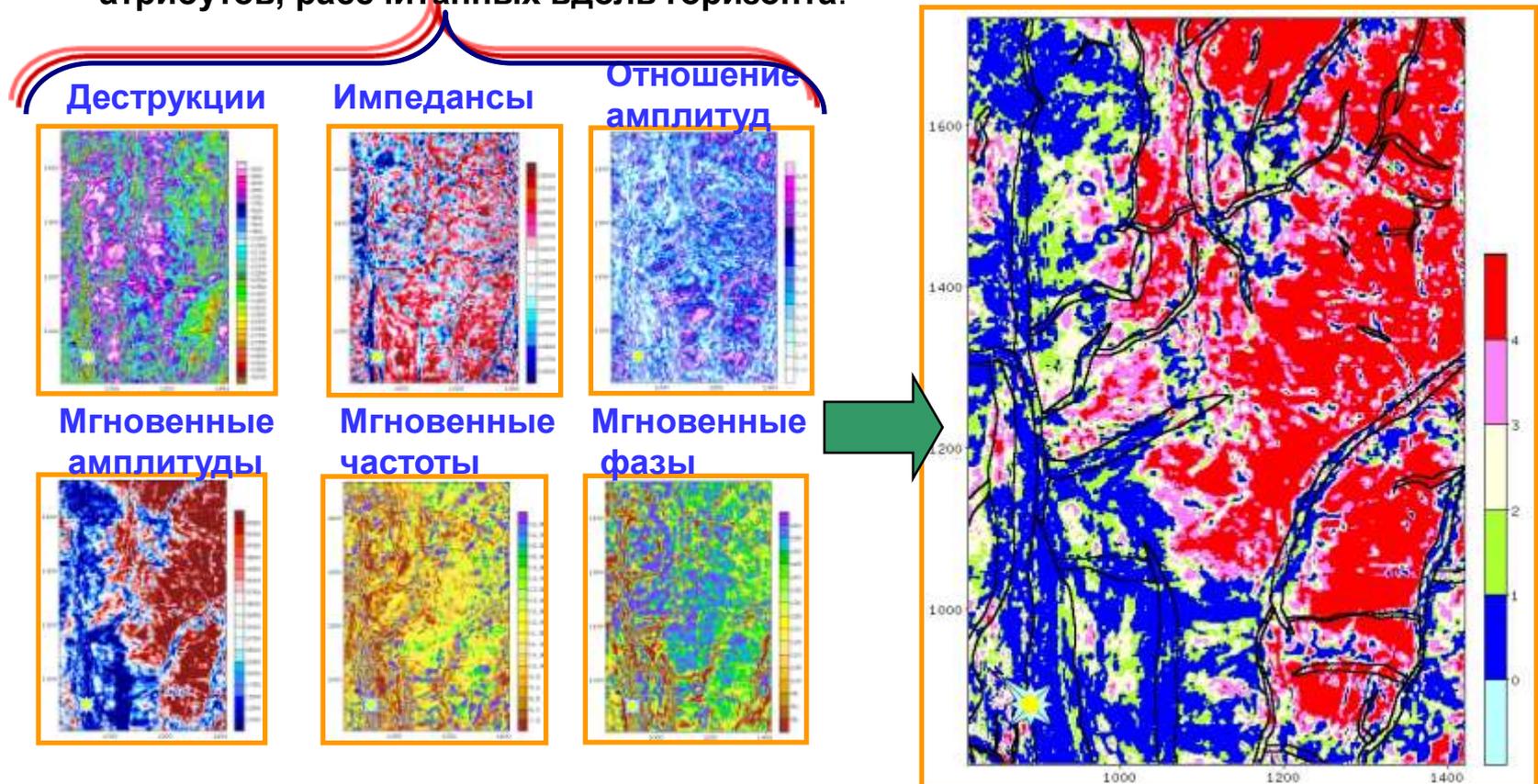
Трассы, характеризующие каждую фацию.



Классификация сейсмических атрибутов

Входные данные для классификации строения объекта - карты сейсмических атрибутов, рассчитанных вдоль горизонта.

Результат классификации исходных атрибутов:
Карта обобщенного (интегрального) атрибута с нанесенными разломами



Построение карты RGB для сейсмических атрибутов

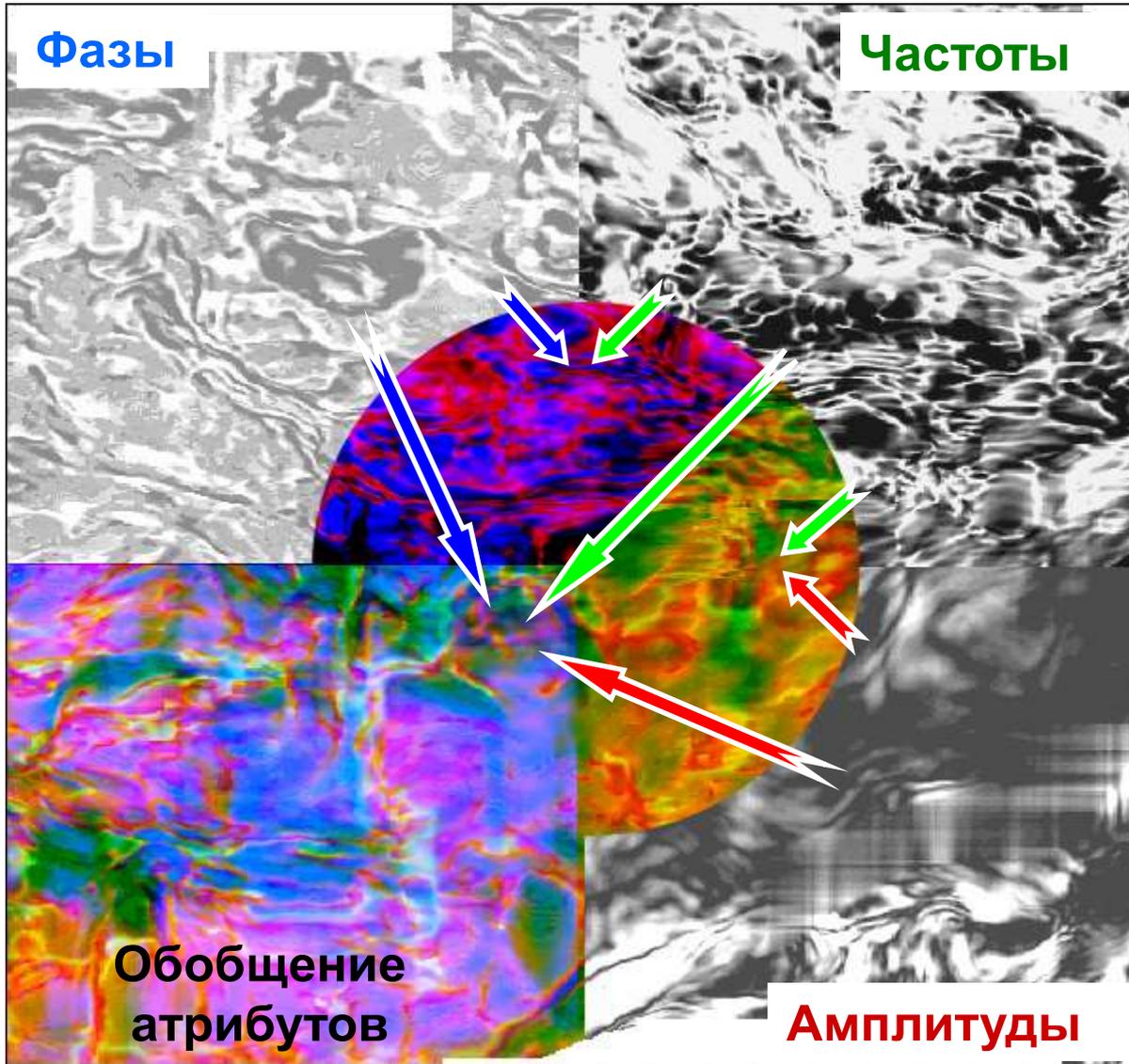
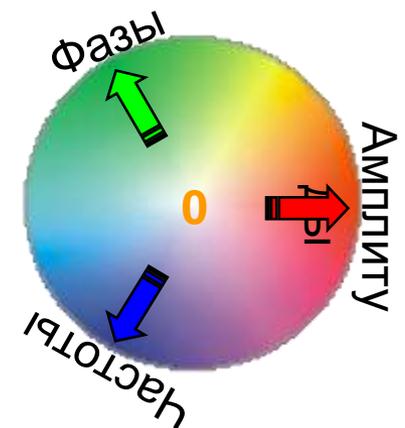
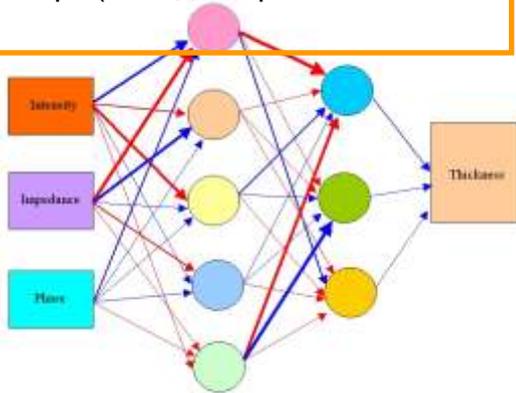


Схема цветов



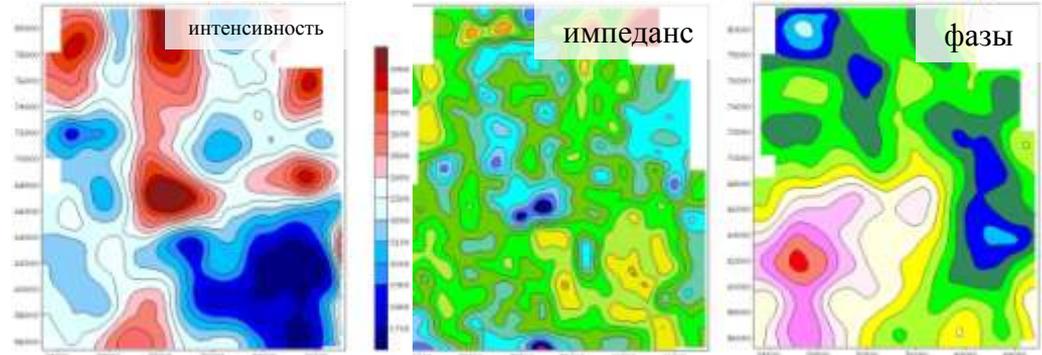
- структурных карт по данным сейсморазведки и/или бурения (методы минимальной кривизны, обратных расстояний);
- карт сейсмических атрибутов;
- прогноз петрофизических параметров по сейсмическим атрибутам и данным бурения (методы кокринг, кригинг с внешним влиянием, нейронная сеть типа многосвязный перцептрон, регрессионный анализ);
- оценка точности карт (методом кросс-валидации);



I этап: MSP обучение и тестирование

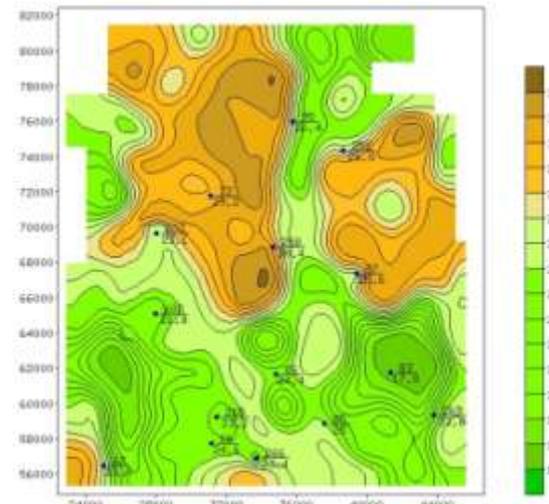
| Well | hef | intensity | impedance | phase |
|------|------|-----------|-----------|-------|
| 63 | 26.6 | 2263 | 4162 | 3743 |
| 72 | 29.2 | 2518 | 4939 | 3189 |
| 83 | 17.8 | 1580 | 2613 | 3083 |
| 85 | 25.0 | 1785 | 2856 | 3270 |
| 86 | 24.4 | 1881 | 2903 | 3497 |
| 87 | 25.6 | 2392 | 3444 | 3240 |
| 95 | 26.4 | 2376 | 4021 | 3392 |
| 252 | 26.8 | 2292 | 3366 | 3209 |
| 258 | 30.4 | 2365 | 4112 | 3387 |
| 265 | 23.2 | 2487 | 3835 | 3593 |

II этап: MSP прогноз



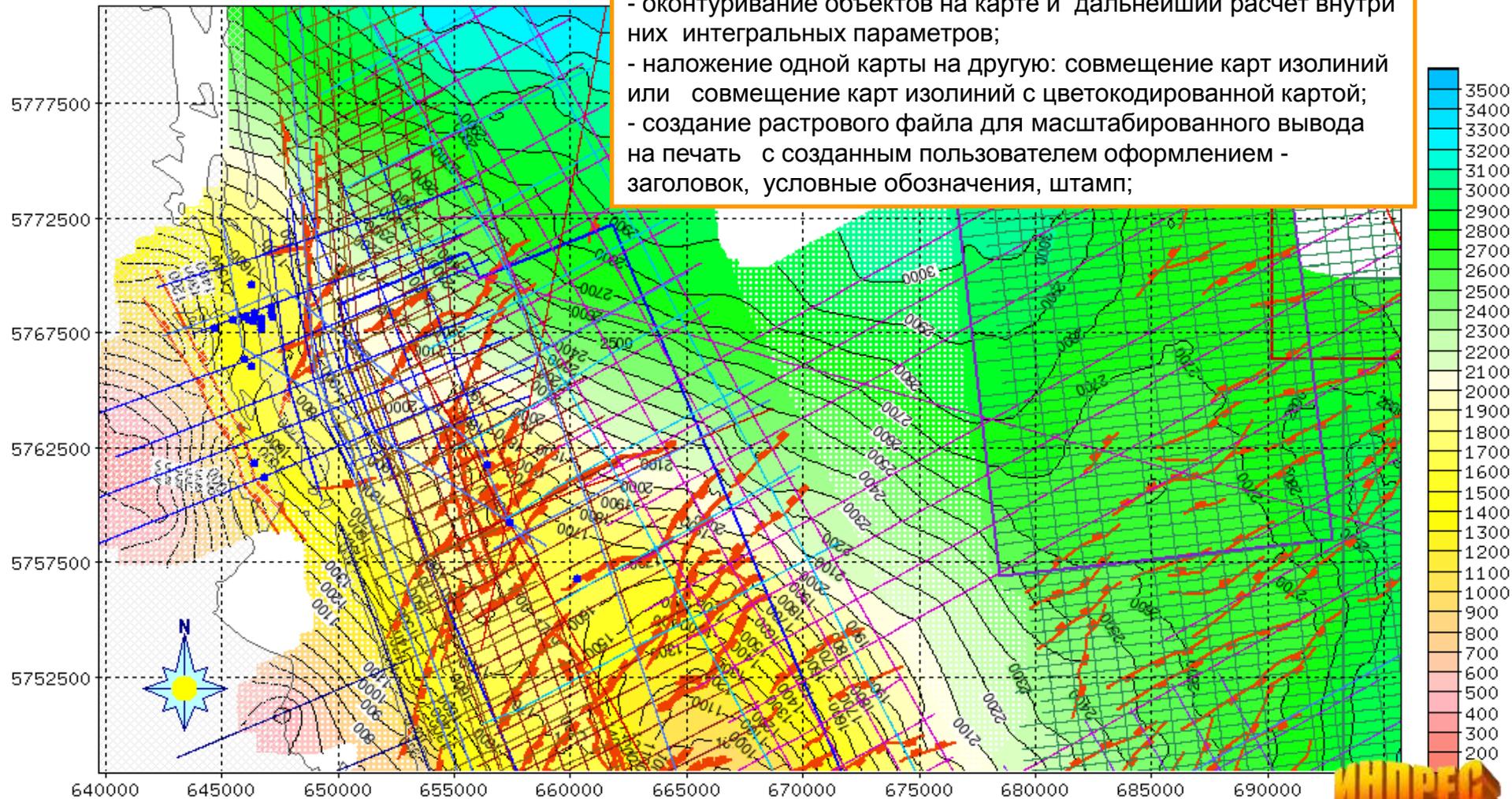
MSP

Карта эффективных толщин



Картопостроение: редактирование и визуализация карт

- визуализация карт в виде изолиний и/или цветокодированном виде;
- редактирование карт, включая редакцию положения разломов, изолиний;
- математические и (или) логические действия с одной или несколькими картами;
- оконтуривание объектов на карте и дальнейший расчет внутри них интегральных параметров;
- наложение одной карты на другую: совмещение карт изолиний или совмещение карт изолиний с цветокодированной картой;
- создание растрового файла для масштабированного вывода на печать с созданным пользователем оформлением - заголовком, условные обозначения, штамп;





Стохастическая AVA- инверсия

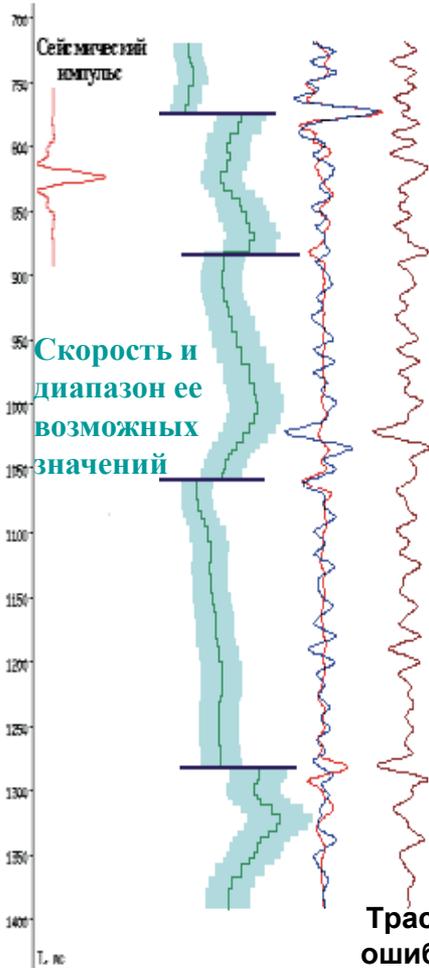
Для нахождения 3D пластовой модели среды на основе сверточной модели формирования сейсмической записи используются алгоритм глобальной оптимизации – имитационный аннилинг и геостатистика.

Для решения обратной задачи формируется целевая функция, в которую входит член, учитывающий отклонение синтетического волнового поля от сейсмического, и члены, обеспечивающие учет априорной геолого-геофизической информации.

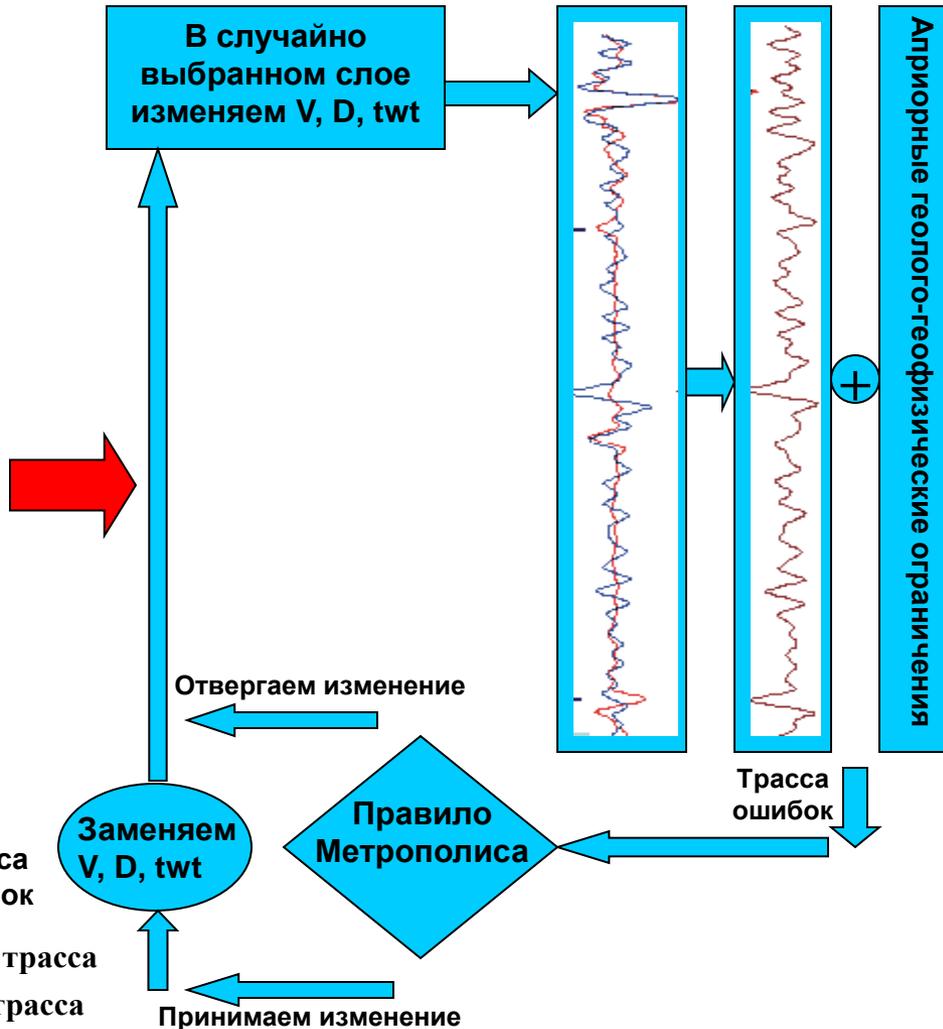
Целевая функция нелинейна по параметрам и является многоэкстремальной, наименьший из минимумов функции соответствует оптимальной эффективной модели среды. Для ее поиска используется алгоритм глобальной оптимизации, что значительно снижает требования к степени детальности задания начального приближения.

Поиск решения осуществляется не по-трассно, а для всей 3D модели в целом с учетом пространственной корреляционной структуры данных, формализованной в виде 3D вариограммы. Учет априорной информации о связности акустических параметров позволяет, по сравнению с потрассным подходом, значительно увеличить отношение S/N , повысить вертикальную разрешенность и устойчивость решения.

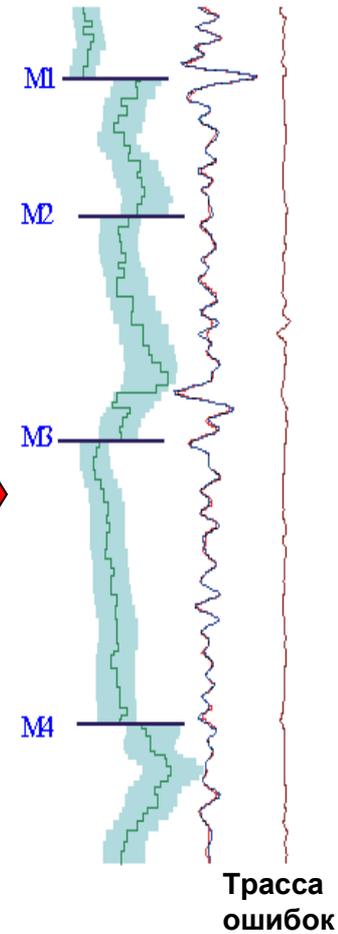
Априорная модель



Расчет целевой функции



Уточненная модель



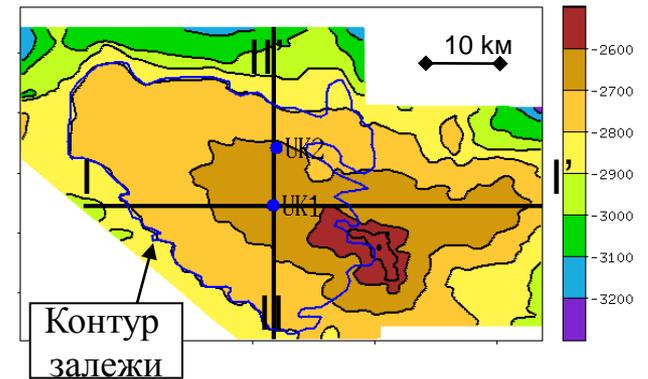
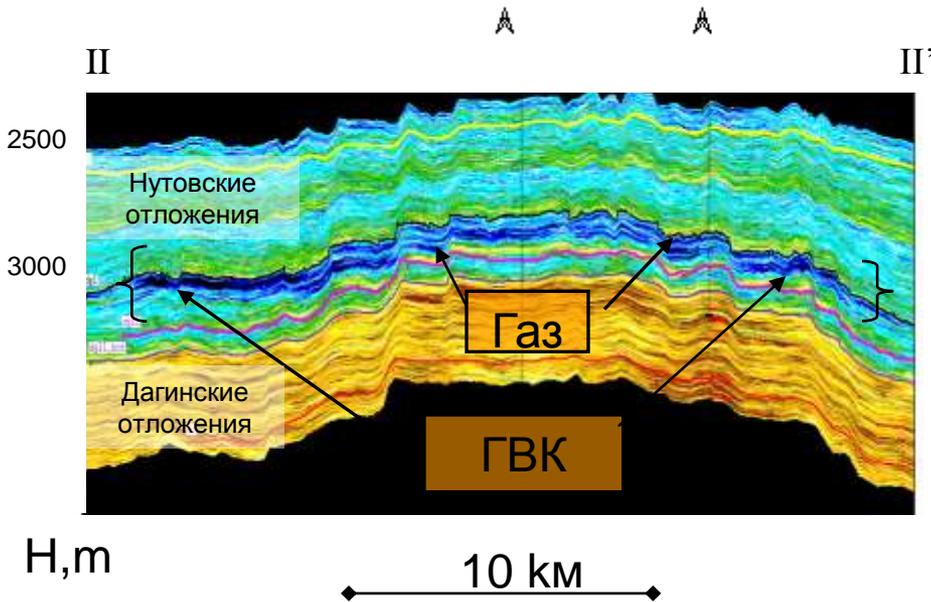
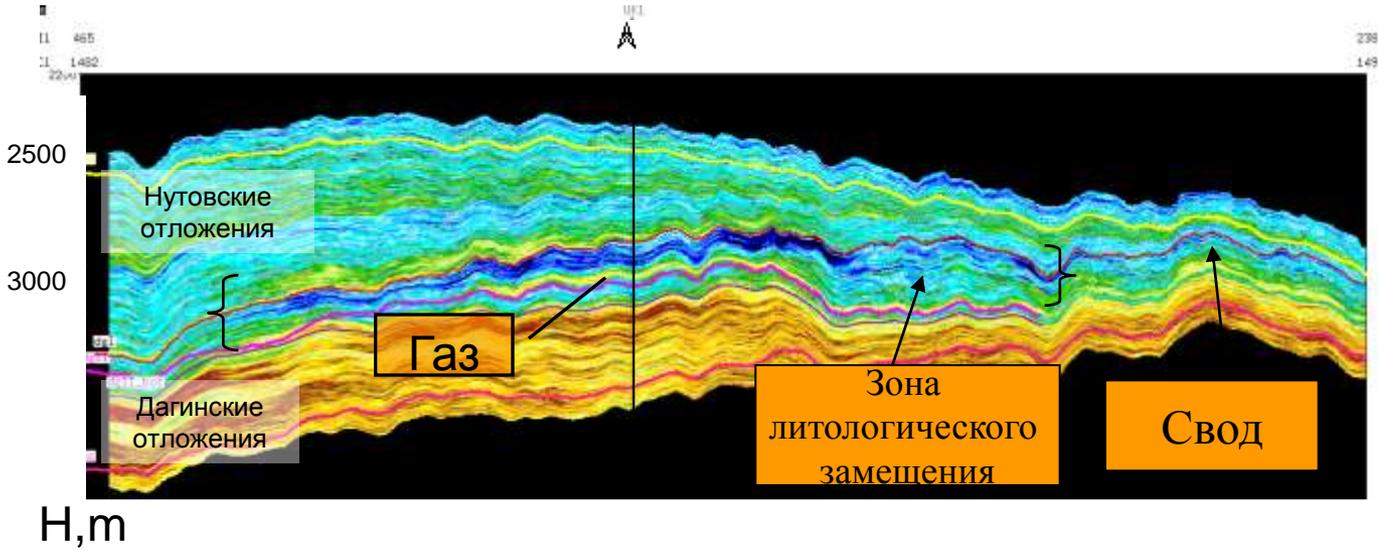
- Синтетическая трасса
- Сейсмическая трасса

Для нахождения 3D пластовой модели среды на основе сверточной модели формирования сейсмической записи используются алгоритм глобальной оптимизации – имитационный аннилинг и геостатистика.

Для решения обратной задачи формируется целевая функция, в которую входит член, учитывающий отклонение синтетического волнового поля от сейсмического, и члены, обеспечивающие учет априорной геолого-геофизической информации.

Целевая функция нелинейна по параметрам и является многоэкстремальной, наименьший из минимумов функции соответствует оптимальной эффективной модели среды. Для ее поиска используется алгоритм глобальной оптимизации, что значительно снижает требования к степени детальности задания начального приближения.

Поиск решения осуществляется не по-трассно, а для всей 3D модели в целом с учетом пространственной корреляционной структуры данных, формализованной в виде 3D вариограммы. Учет априорной информации о связности акустических параметров позволяет, по сравнению с потрассным подходом, значительно увеличить отношение S/N , повысить вертикальную разрешенность и устойчивость решения.



Разрезы акустических импедансов



Комплексная методика прогноза пористости по результатам инверсии

Входные данные:
Кп по данным ГИС,
 полученные в ходе инверсии
скорость (V), плотность (D),
акустический импеданс (I),
время (twt)

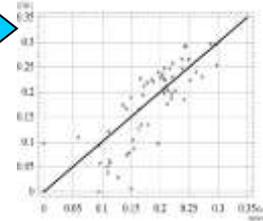
Множественная регрессия

Регрессионная модель Кп

$$Kp = (\theta_0 + \theta_1 V^{\alpha_1} + \theta_2 D^{\alpha_2} + \theta_3 I^{\alpha_3} + \theta_4 twt)^{\gamma}$$

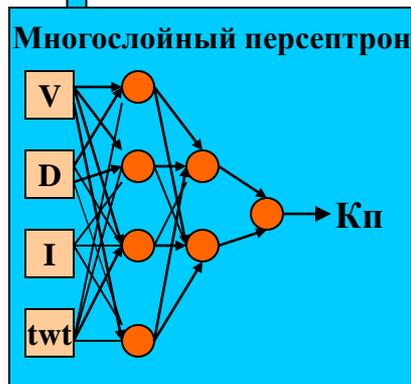
оценка параметров

прогноз Кп

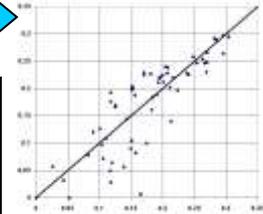


Нейронная сеть

обучение сети



прогноз Кп



плохое
качество

Проверка надежности прогноза

хорошее
качество

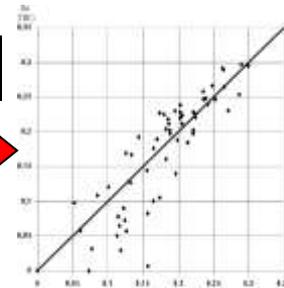
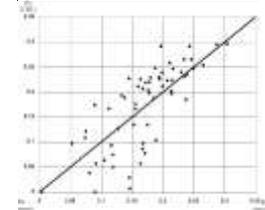
хорошее
качество

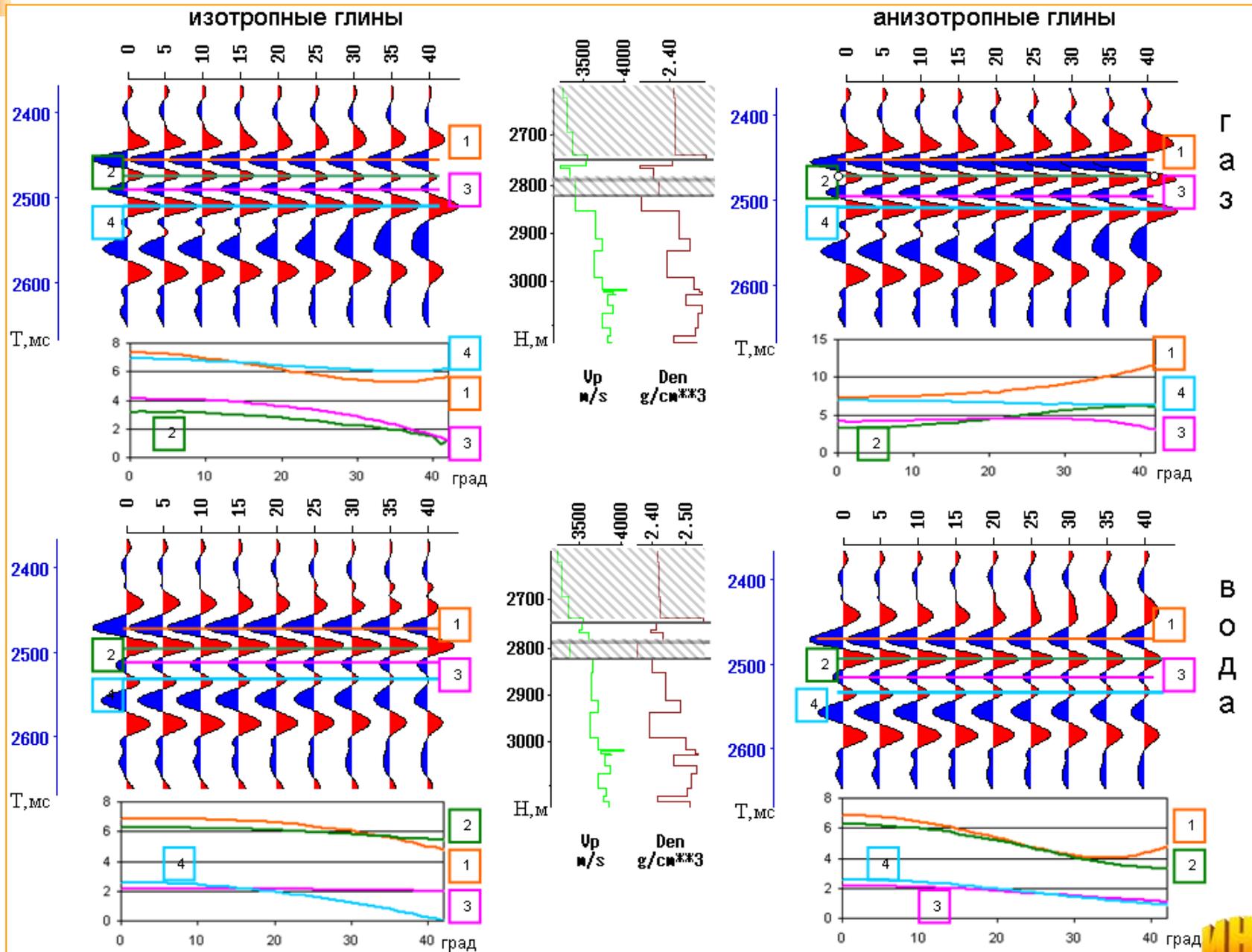
плохое
качество

Средний прогноз Кп

$w Kp(\text{регр}) + (1-w) Kp(\text{нс})$

проверка
надежности
прогноза
(Jack-Knife)

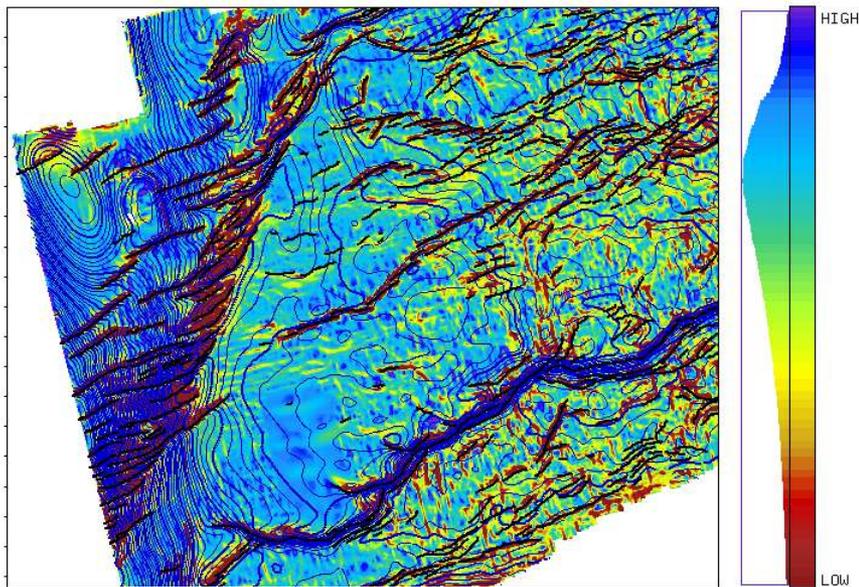




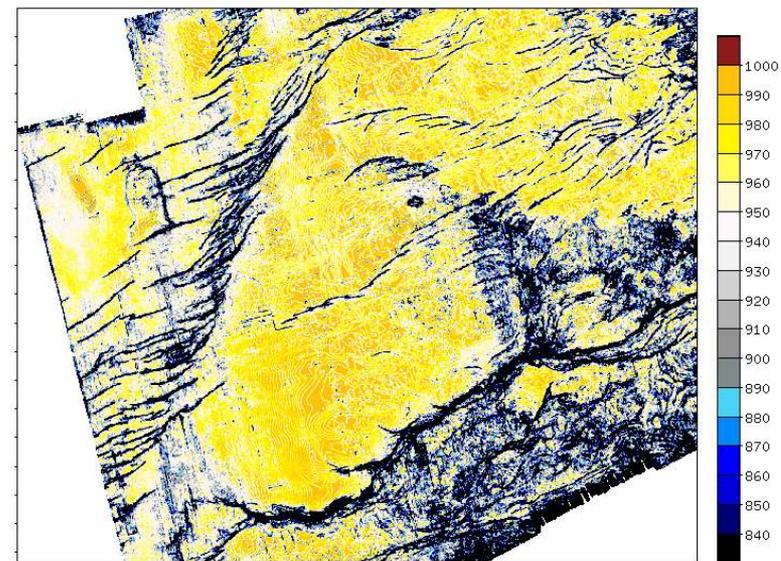
З
а
м
е
щ
е
н
и
е

Ф
л
ю
и
д
а



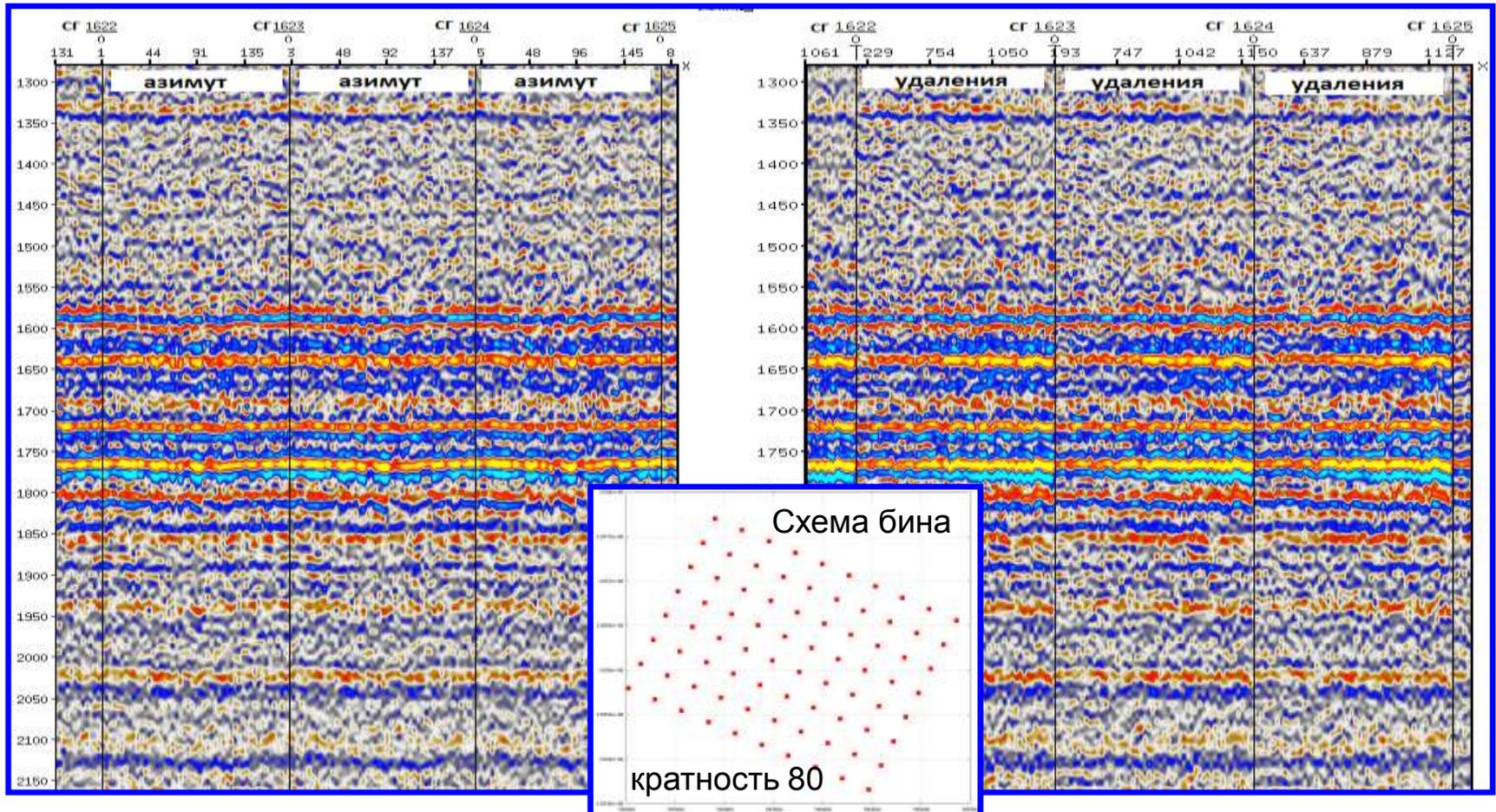


Карты кривизн



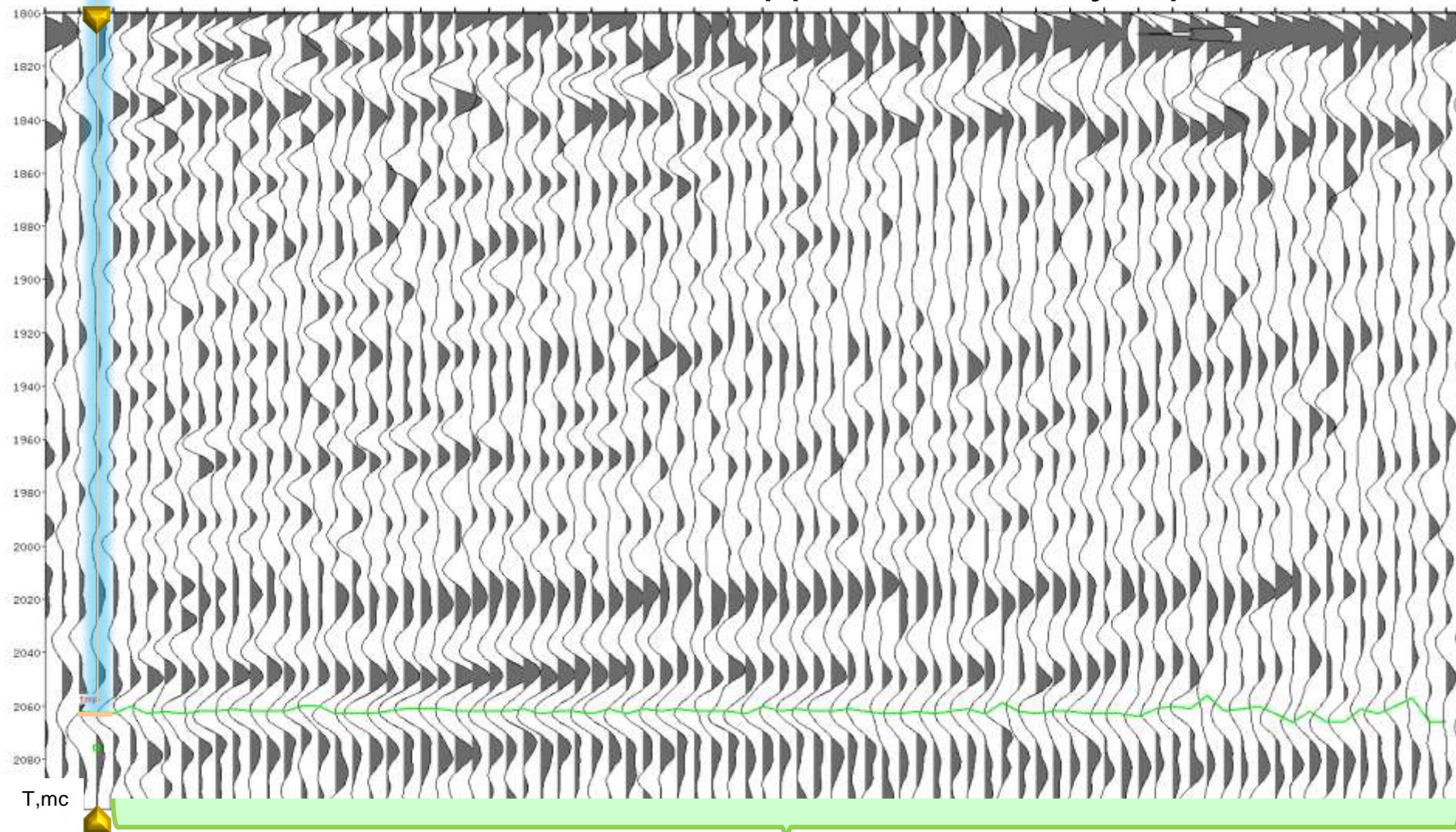
Карты регулярности

Сеймотрассы супербинов 3D



- выравнивание сейсмических трасс в супербинах 3D
- систематизация трасс по азимутам (слева) и удалениям (справа)

Автоматическая корреляция по супербинам

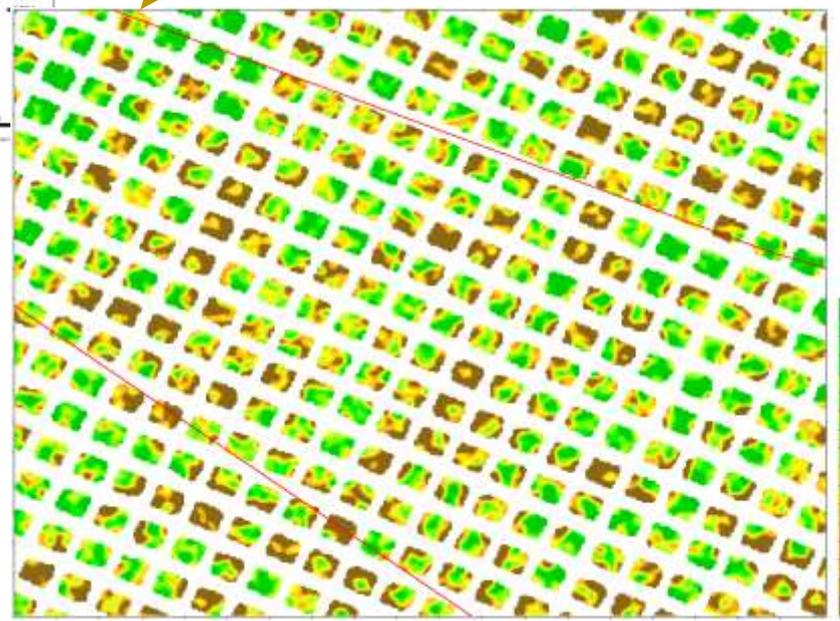
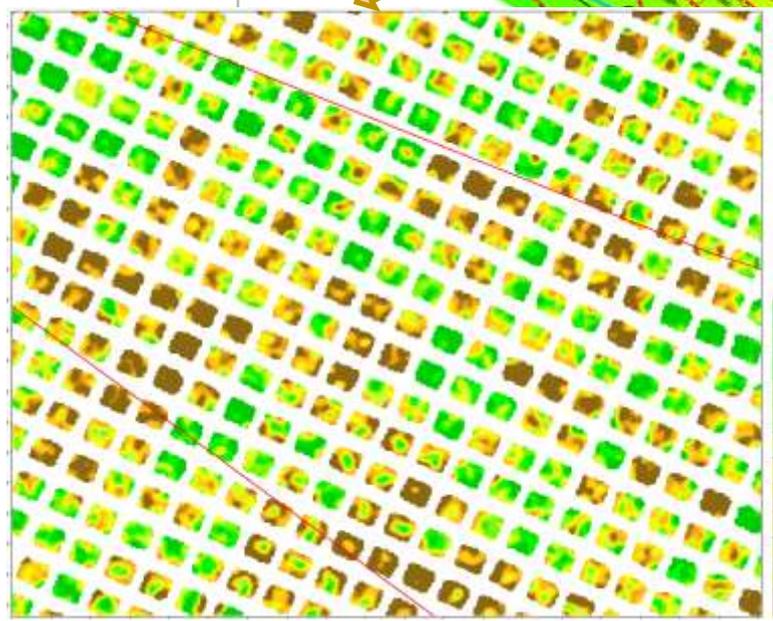
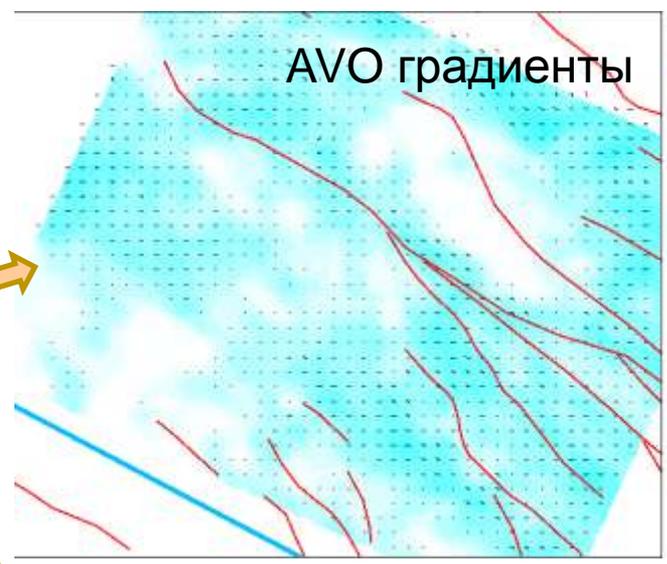


Суммарная трасса

Трассы супербина 3x3 после децимации.



Поиск аномалий



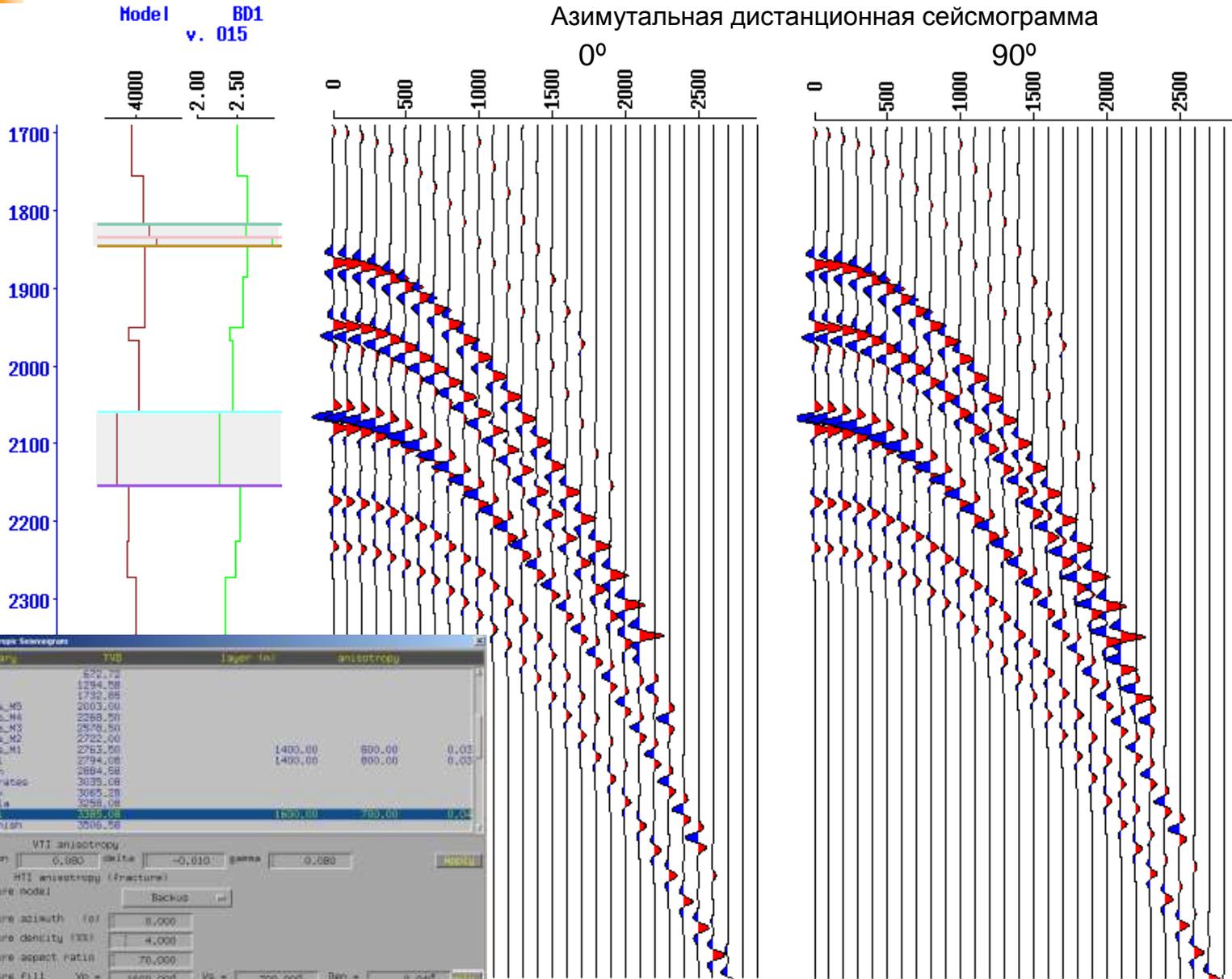
Негиперболичность

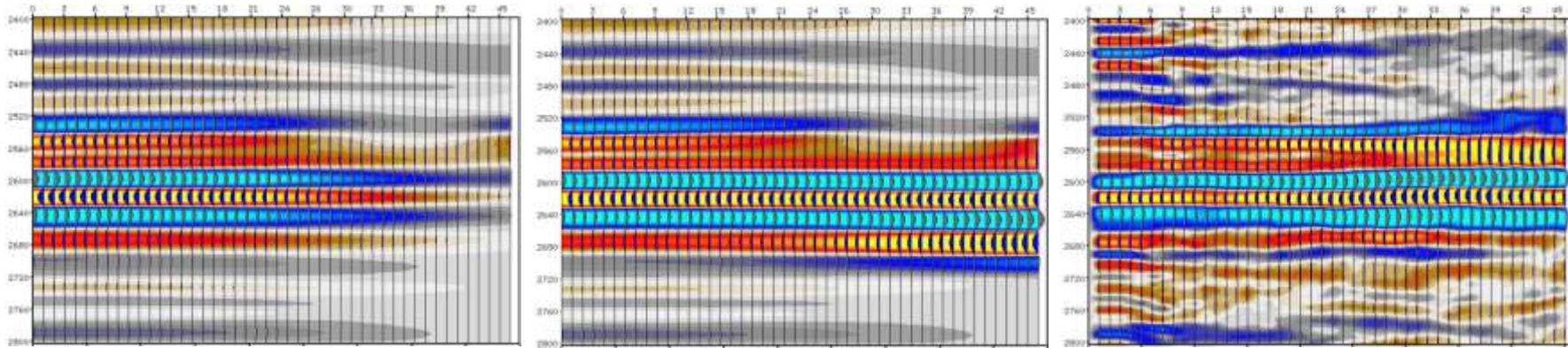
1 км

Интенсивность



Азимутальная дистанционная сейсмограмма





а) изотропная модель

б) анизотропная модель, где
 $\delta (V_{NMO}/V_{RMS}) = 4\%$,
 $\gamma (V_{SII}/V_{SI}) = 8\%$,
 $\varepsilon (V_{PII}/V_{PI}) = 8\%$

с) реальная сейсмограмма

Рис. Сопоставление синтетических сейсмограмм (а, б) с реальной (с)

Программный комплекс работает по схеме «один сервер - много клиентов», что позволяет легко организовывать многопользовательский доступ к проекту и стабильную совместную работу с огромным объемом данных.

Развитие системы происходит на основе запросов геофизиков, выполняющих интерпретационные проекты, как в ЦГЭ, так и в сторонних организациях. У них же новые пакеты проходят практику.

Использование ИНПРЕС обеспечивает эффективность структурных построений и прогноза коллекторских свойств пород. И это подтверждено многолетней практикой использования в 35 организациях в России и за рубежом.

Спасибо за внимание))

телефон: 8-499-192-81-32

почта: inpres@cge.ru