



SeisProN

Москва,
ОАО «ЦГЭ»
июль 2014 г.

<http://www.cge.ru>
E-mail: cge@cge.ru
Tel: (499) 192 6415
Fax: (499) 192 8088

Нейросетевое моделирование и
кластерный анализ сейсмических и
скважинных данных

Программный комплекс – Seispron

• Основная задача

- ✘ Основной задачей при создании программы "SeisProN" была проверка возможностей и использование инновационных технологий нейронных сетей для обработки и интерпретации геофизических данных. В рамках программы была решена актуальная задача прогнозирования свойств резервуаров по сейсмическим и скважинным данным на основе сейсмического атрибутивного анализа.

• Научно-практическое применение

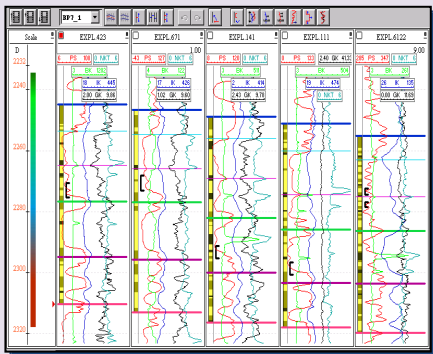
- ✘ Программа "SeisProN" является нашей уникальной разработкой. Технологии и методики, используемые в программе, создаются с 2004 года. В программе используются специально модифицированные алгоритмы регрессионного анализа, нейронных сетей и устойчивой кластеризации сейсмических данных.
- ✘ Все исследования и разработки успешно применяются в производственном режиме с помощью программы "SeisProN".

• Назначение программы

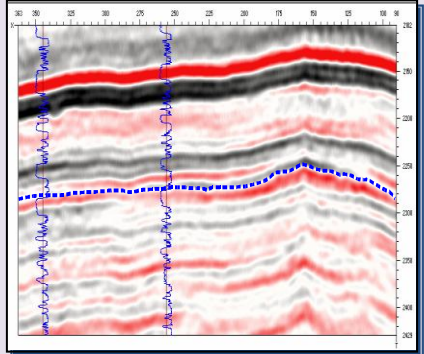
- ✘ Программа предназначена для расчета (прогнозирования) геолого-геофизических величин (коллекторских свойств – пористости, эффективной мощности пласта, кривых ГИС и т.д.) на основе линейных и нелинейных моделей. Расчет осуществляется для набора сейсмических атрибутов, взятых во временном окне вдоль выделенного горизонта и значениям прогнозируемых величин, известных в точках пересечения скважин и горизонта.

Нейросетевое моделирование, регрессионный и кластерный анализ сейсмических и скважинных данных

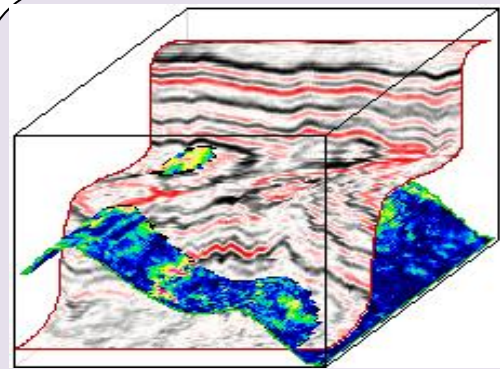
Программный комплекс – Модель входных данных



• Результаты корреляции и интерпретации скважинных данных

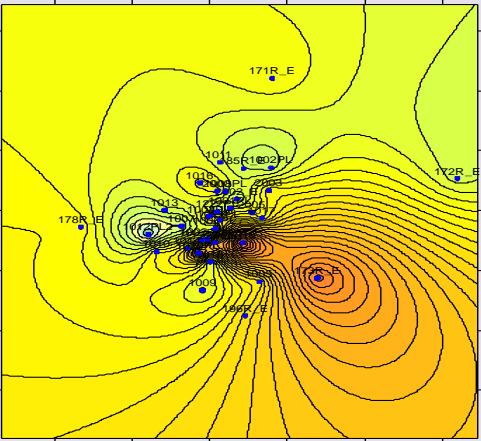


• Результаты корреляции и интерпретации данных сейсморазведки

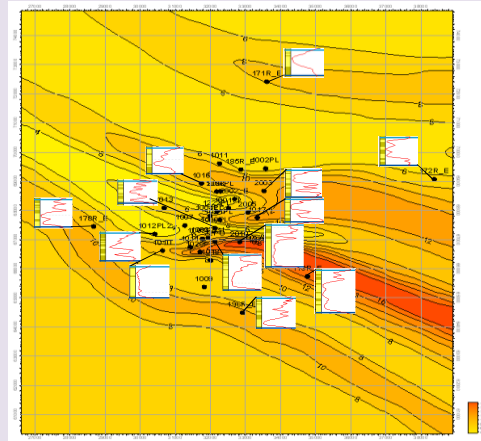


• Расчет сейсмических атрибутов

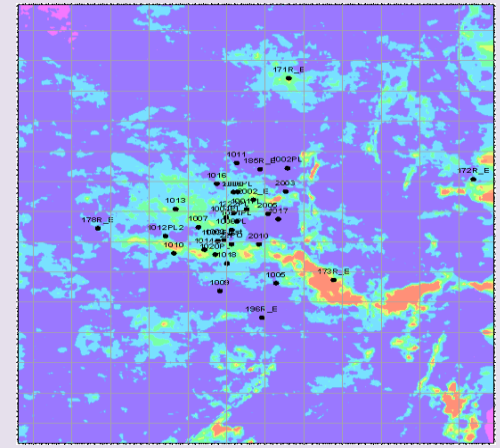
Данные для нейросетевого моделирования



• Детерминистическая модель простая интерполяция

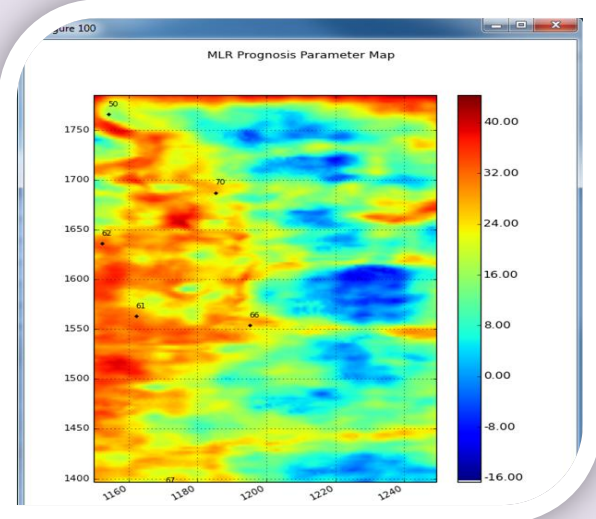


• Принципиальная модель

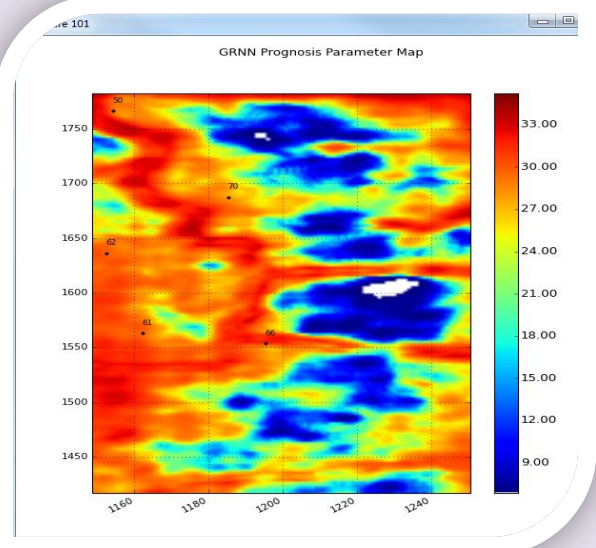


• Выбор сейсмического атрибута

Программный комплекс – Модель выходных данных

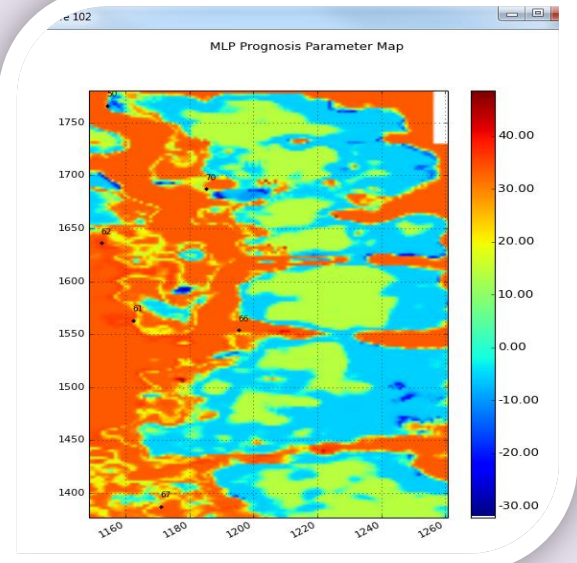


• MLR

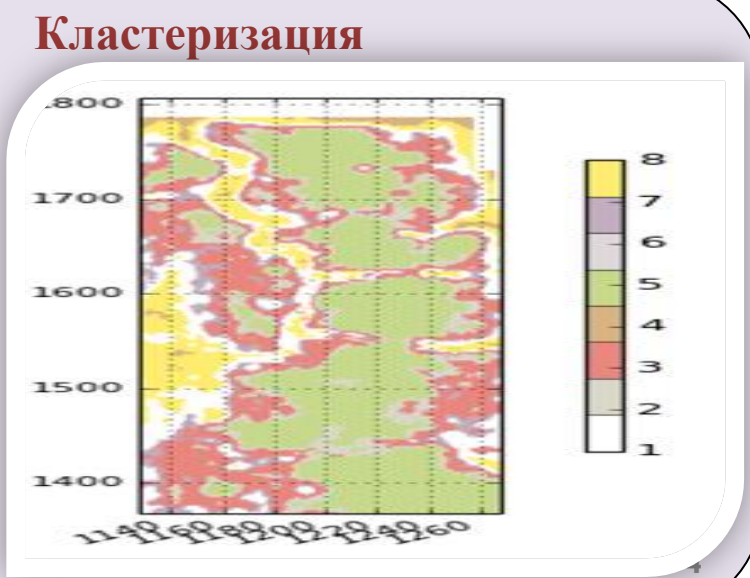


• GRNN

Результаты
нейросетевого
моделирования



• MLP



• Классификация

Исходные данные –Скважины (загрузка)

Набор значений расчетного параметра в скважинах легко подготавливается вручную или с помощью программы Microsoft Excel.

The screenshot shows the main window of the software. At the top, there are tabs for 'SeisProN', 'Выборка', 'Сейсмические атрибуты', 'Статистические атрибуты', 'Вычисления', and 'Журнал'. The main area contains a table with columns: Скважина, In, Cr, Параметр, MLR, GRNN, MLP, № Кластера, and Центр. Below the table, there is a section titled 'УПРАВЛЕНИЕ СКВАЖИНЫМИ ДАННЫМИ' with buttons 'Загрузить в таблицу', 'Очистить таблицу', and 'Матрица корр.'. Below that is a 'СТАТИСТИКА' section with input fields for 'Среднее' and 'Стандартное отклонение' for each model (MLR, GRNN, MLP), and a table for 'Кoeffициент корреляции', 'Среднеквадратичная ошибка', and 'Ошибка/тренировочное множество'.

	Скважина	In	Cr	Параметр	MLR	GRNN	MLP	№ Кластера	Центр
1	41	1136.4081	1461.8816	39.9	35.5129	31.8042	31.7347	4	
2	45	1100.9742	1458.3645	27.4	30.5531	31.211	28.0992	4	
3	46	1211.8884	1286.0605	6.8	9.9779	11.8475	8.2666	12	*
4	48	1120.3915	1074.509	46	37.5615	33.9947	38.6863	4	
5	49	1103.9644	1326.7419	25.2	32.9256	33.3937	26.2965	4	*
6	50	1154.3054	1766.1431	15.8	17.1564	29.4659	14.6021	10	
7	61	1162.1821	1563.2529	36.4	30.877	29.7689	32.3219	10	
8	62	1152.3546	1636.1024	38	32.3291	30.0256	37.5981	10	
9	63	1106.4425	1187.2863	32.8	35.345	31.5638	33.8622	9	
10	64	1108.1793	1274.8442	33.2	36.4267	32.8697	30.0612	9	*
11	66	1195.2261	1553.8783	31	25.742	31.8617	31.1844	4	
12	67	1170.9109	1387.5131	27.7	20.727	29.184	24.9683	10	
13	68	1117.3495	1507.3369	28.8	37.4452	32.3793	29.8652	9	
14	70	1185.1654	1687.319	20	26.2862	27.5852	20.5438	10	*
15	71	1146.9287	1219.4547	32.4	32.5342	31.0791	32.1162	10	

This screenshot shows a zoomed-in view of the data table from the software. The columns are: Скважина, In, Cr, and Параметр. The rows correspond to the well numbers 1 through 15.

	Скважина	In	Cr	Параметр
1	41	1136.4081	1461.8816	39.9
2	45	1100.9742	1458.3645	27.4
3	46	1211.8884	1286.0605	6.8
4	48	1120.3915	1074.509	46
5	49	1103.9644	1326.7419	25.2
6	50	1154.3054	1766.1431	15.8
7	61	1162.1821	1563.2529	36.4
8	62	1152.3546	1636.1024	38
9	63	1106.4425	1187.2863	32.8
10	64	1108.1793	1274.8442	33.2
11	66	1195.2261	1553.8783	31
12	67	1170.9109	1387.5131	27.7
13	68	1117.3495	1507.3369	28.8
14	70	1185.1654	1687.319	20

- Окно загрузки данных ГИС

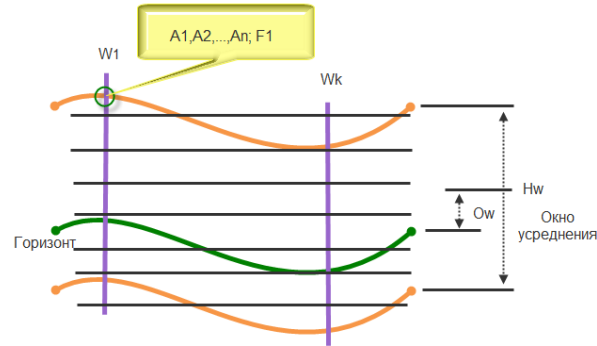
- Рабочее окно программы загрузки скважин

Выборка параметра по скважинам (файл с обучающей выборкой имеет расширение *.csv и содержит информацию в столбцах в следующем порядке: положение скважин в координатах Inline – Crossline, “истинное” значение прогнозируемого параметра в точках скважин)

Исходные данные – Сейсмические атрибуты (загрузка)

Программа предназначена для расчета прогнозных геофизических параметров на основе рассчитанных вдоль горизонта сейсмических атрибутов и обучающей выборки – набору скважин, в которых известны значения прогнозируемого параметра.

Для устранения различий во влиянии данных на результат производится их автоматическая статистическая стандартизация, то есть, приведение к нулевому среднему и единичной дисперсии.



На Рис. 1 представлена схема получения исходных данных для задачи восстановления фильтрационно-ёмкостных свойств. Окно усреднения высот H_w расположено со смещением O_w относительно линии сейсмического горизонта. Значения сейсмических атрибутов A_1, A_2, \dots, A_n усредняются вдоль окна и им ставится в соответствие усредненное значение фильтрационно-ёмкостного свойства F^1 .

- Рабочее окно программы загрузки атрибутов

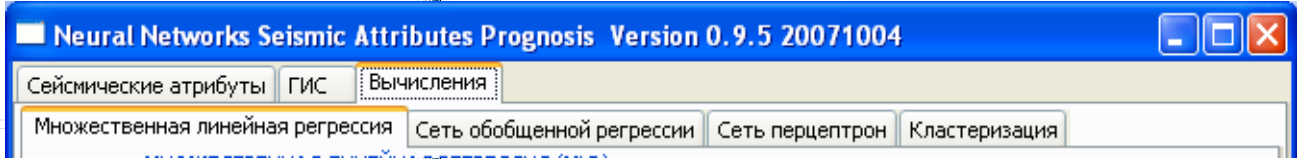
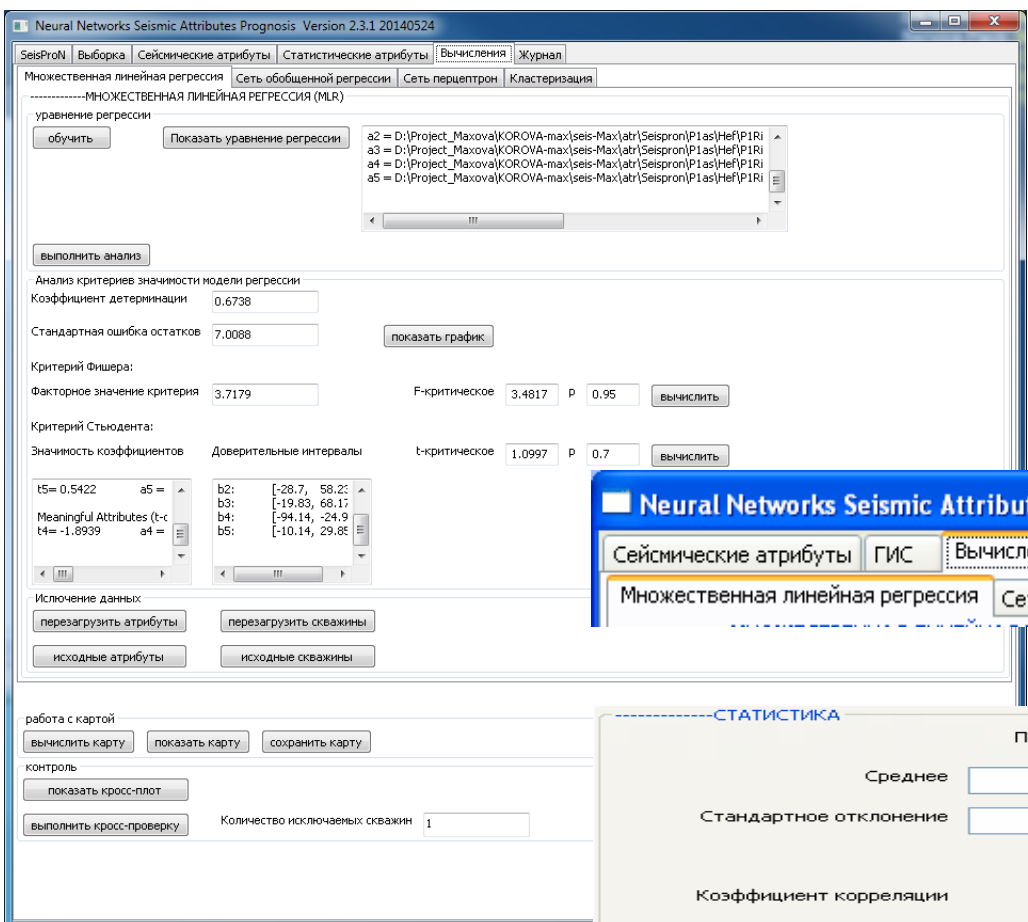
- Схема стандартизации атрибутов

Карты сейсмических атрибутов (загружаемые карты сейсмических атрибутов рассчитывается предварительно. Возможна загрузка карт в виде файлов в формате *.cps или в формате *.parm (внутренний формат комплекса DV-Discovery)).

Программный комплекс – Вычисления

Расчет может выполняться несколькими способами

- **Метод множественной линейной регрессии (MLR)**
- **Нейронная сеть обобщенной регрессии (GRNN)**
- **Многослойный линейный перцептрон (MLP)**



- **Рабочее окно программы вычислений**

СТАТИСТИКА

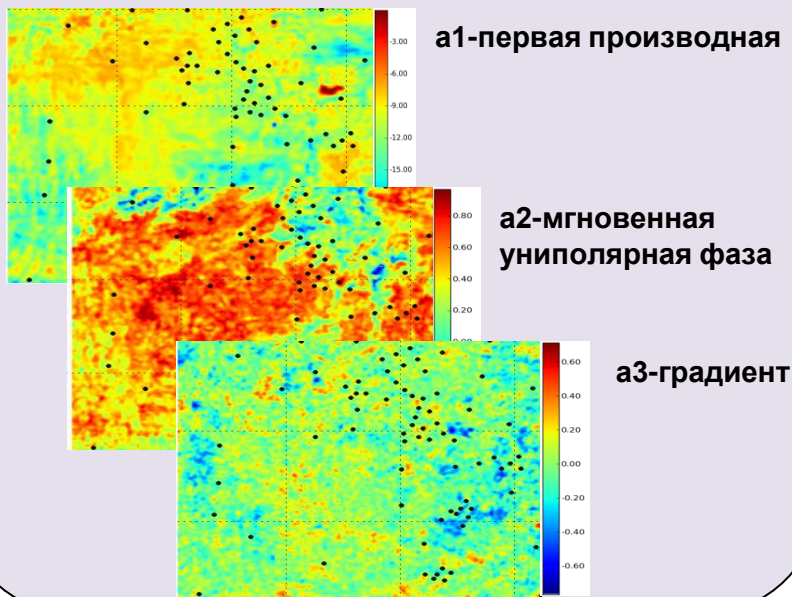
Параметр	MLR	GRNN	MLP
Среднее	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Стандартное отклонение	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Коэффициент корреляции	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Среднеквадратичная ошибка	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ошибка/тренировочное множество	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ошибка/тестовое множество	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

В каждом из выбранных положений можно выполнить визуальный анализ карт прогнозного параметра и сохранить полученные карты. В этом же положении выполняется процедура перекрестной проверки (поле "контроль").

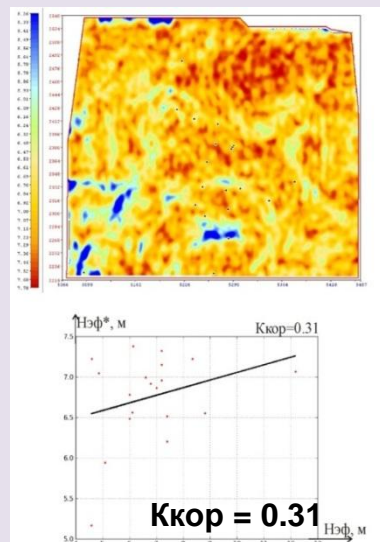
Скважинные данные

Скважина	In	Cr	Параметр
w1	391.16	927.88	27.4
w2	779.8	1407.51	28.2
w3	177.66	470.54	20.2
w4	247.29	640.76	15.4
w5	412	637	13.4
w6	650.87	843.31	16.38
w7	425.77	320.77	17.2
w8	710.08	1390.41	36.42
w9	413	492.21	22.38
w10	373.44	851.98	24.4

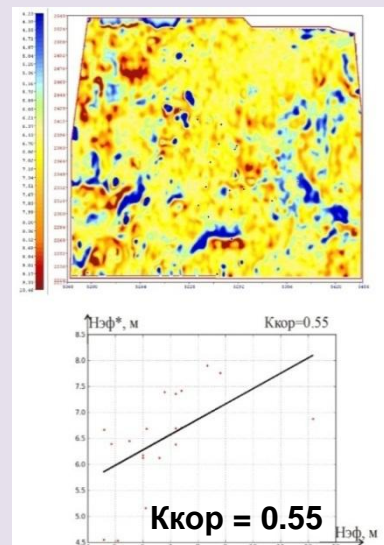
Сейсмические атрибуты



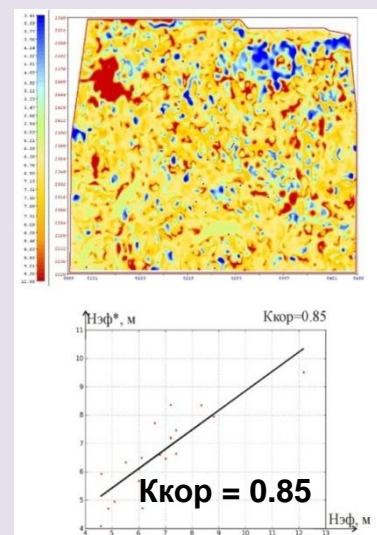
MLR



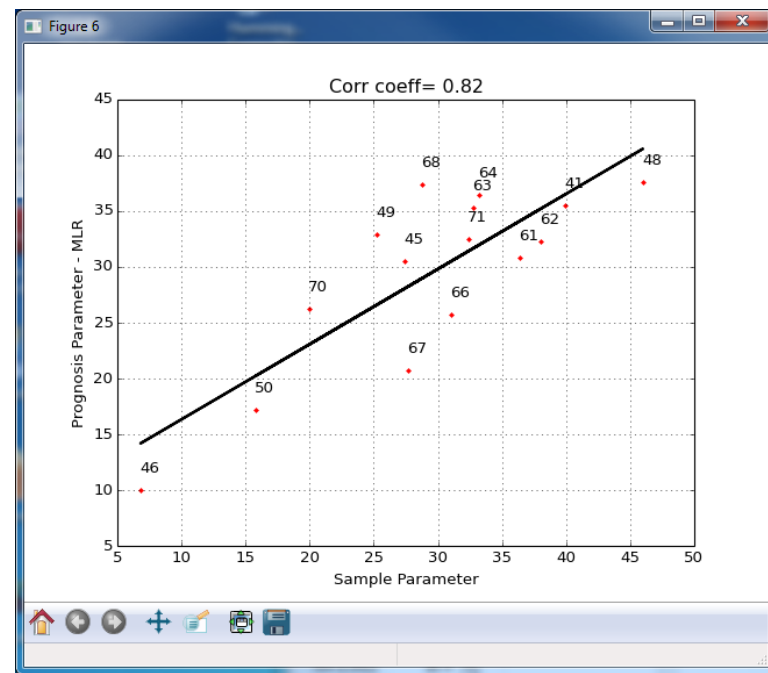
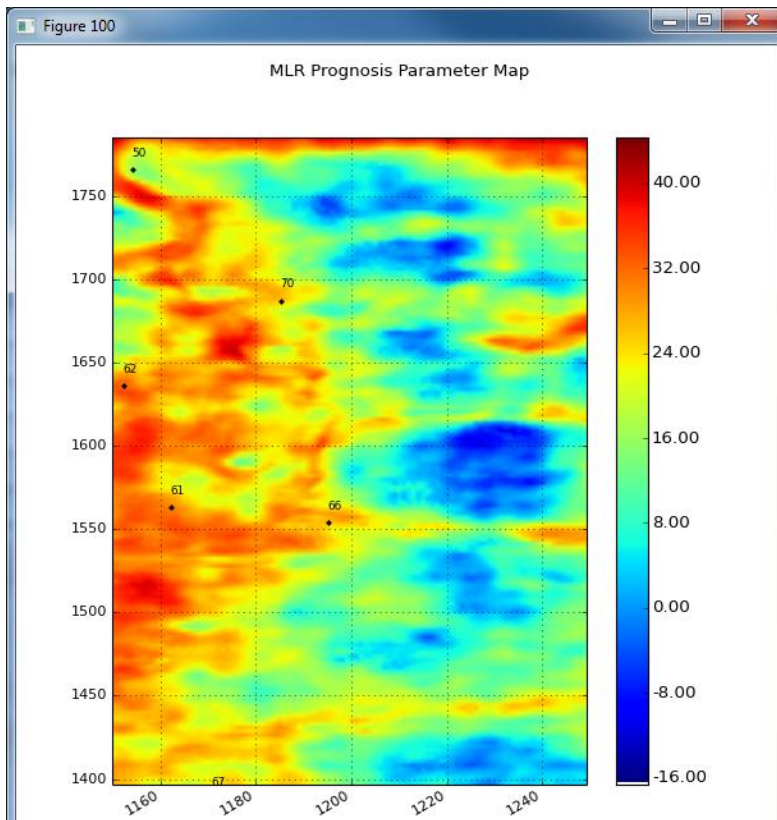
GRNN



MLP



Прогнозирование по методу множественной регрессии (MLR)



- Кросс-плот значений в скважинах и прогнозах

- Прогнозная карта по сети MLR
- **Простое линейное** представление зависимости прогнозного параметра от исходных сейсмических атрибутов
- Поиск параметров зависимости производится стандартными методами при помощи минимизации среднеквадратичного отклонения
- Линейная модель является неадекватной, если решаемая задача носит нелинейный характер
- Значения, получаемые по линейным уравнениям регрессии, могут приводить к нефизическим величинам

Прогнозирование по методу множественной регрессии (MLR)

-----МНОЖЕСТВЕННАЯ ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ (MLR)-----

уравнение регрессии

обучить

Показать уравнение регрессии

-----МНОЖЕСТВЕННАЯ ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ (MLR)-----

уравнение регрессии

Обучить

Показать уравнение регрессии

$Y_{mlr} = 22.303131347 - 0.00372776113327 * a1 + 0.081$

$Y_{mlr}(std) = 22.2753376693 - 0.621252858154 * a1 + 1.$

$a1 = G:\{PROJECT_Prognosis\}prognosis1\{P_attribute (8)$

выполнить анализ

Анализ критериев значимости модели регрессии

Коэффициент детерминации 0,6738

Стандартная ошибка остатков 7,0088

показать график

Критерий Фишера:

Факторное значение критерия 3,7179

F-критическое 3,4817 p 0,95

вычислить

Критерий Стьюдента:

Значимость коэффициентов Доверительные интервалы

t-критическое 1,0997 p 0,7

вычислить

t5= 0.5422

a5 =

b2: [-28.7, 58.2]

Meaningful Attributes (t-c

t4= -1.8939

a4 =

b3: [-19.83, 68.17]

b4: [-94.14, -24.9]

b5: [-10.14, 29.88]

Исключение данных

перезагрузить атрибуты

перезагрузить скважины

исходные атрибуты

исходные скважины

работа с картой

вычислить карту

показать карту

сохранить карту

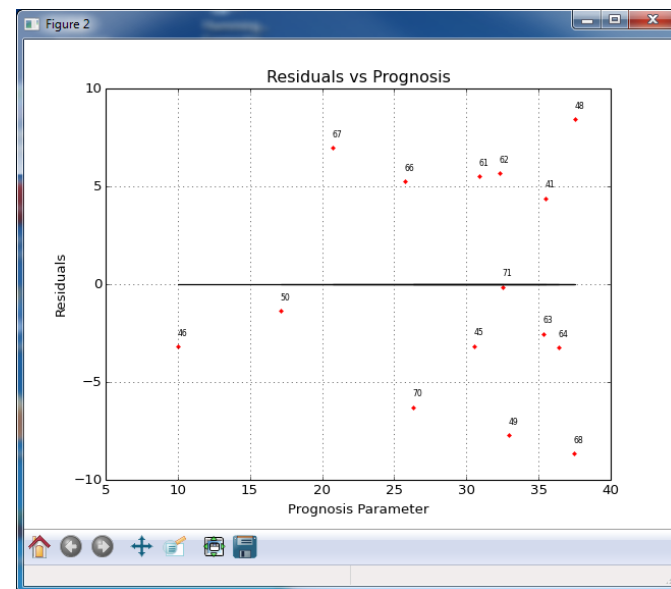
контроль

показать кросс-плот

выполнить кросс-проверку

Количество исключаемых скважин

1



Нейронные сети - структура

Структура нейрона

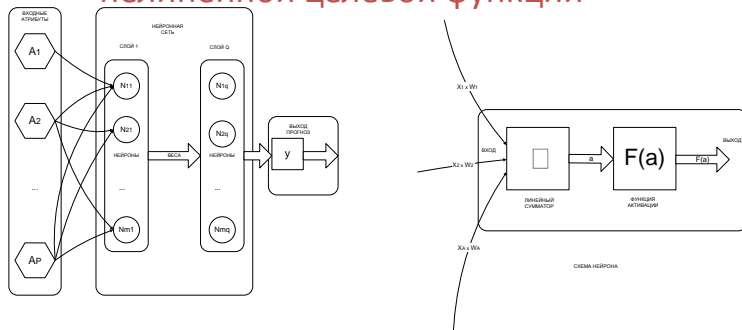
- Искусственный нейрон имеет несколько входов и один выход
- Сигналы на входе умножаются на веса связей, суммируются и пропускаются через нелинейную функцию для получения выхода нейрона

Нейронная сеть

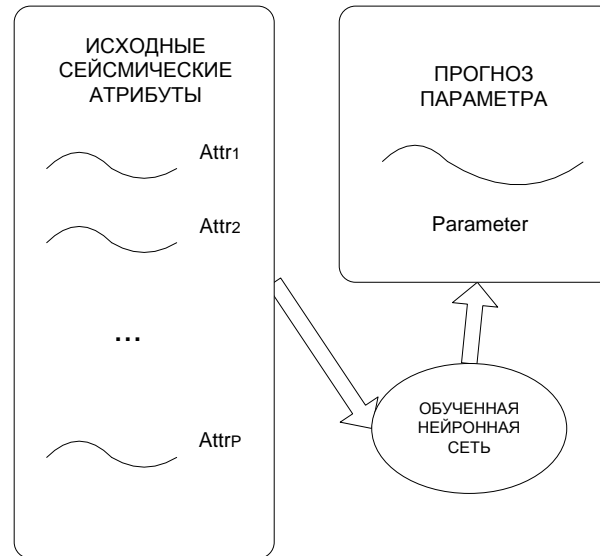
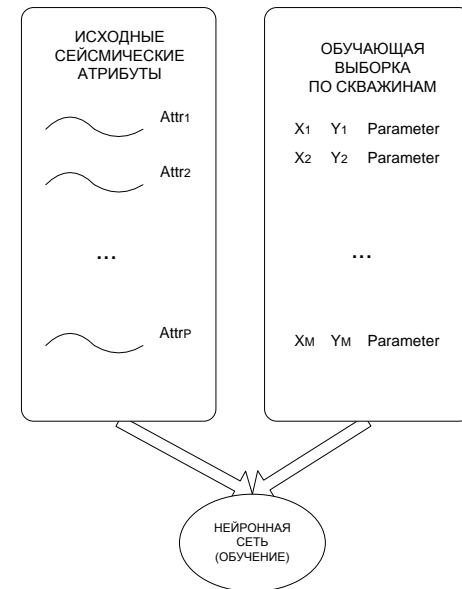
Сеть состоит из нескольких слоев нейронов, соединенных специальными связями. Веса настраиваются при обучении сети. Сейсмические атрибуты, подаются на вход сети для формирования прогноза.

Обучение нейронной сети

- Обучение заключается в изменении значений весовых коэффициентов
- Обычно данные разделяются на две выборки – обучающую и тестовую
- Используются различные алгоритмы обучения, основанные на оптимизации нелинейной целевой функции

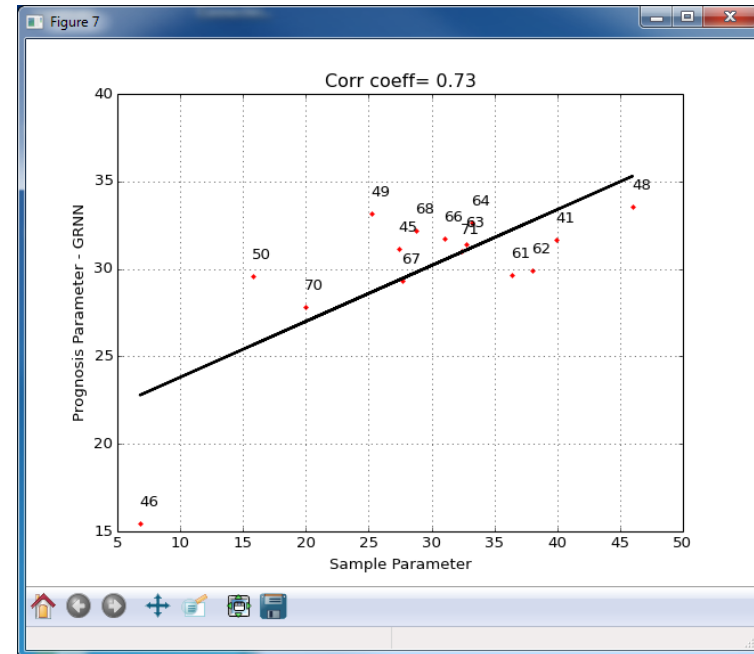
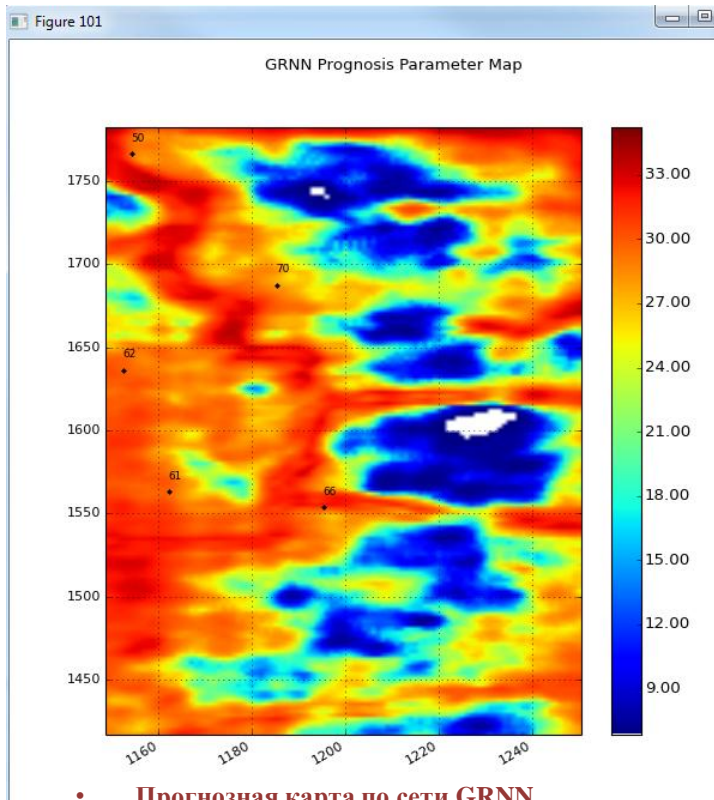


На этапе обучения сети представляются обучающая выборка (прогнозного параметра по усреднению в скважине) и значения сейсмических атрибутов в точках, соответствующих пересечению выбранного горизонта и скважин



На этапе применения обученная нейронная сеть используется как расчетный механизм, калькулятор, который рассчитывает по входным сейсмическим атрибутам выход сети – прогнозный параметр, соответствующий выученной сетью нелинейной зависимости

Прогнозирование с помощью нейронной сети обобщенной регрессии (GRNN)



Нейронная сеть обобщенной регрессии (GRNN), используемая в данной версии программы, обучается за один шаг и не требует проведения дополнительных шагов, кроме задания значения параметра **SPREAD**, управляющего параметра, определяющего качество работы нейронной сети GRNN (гладкость аппроксимации)

Значение параметра **SPREAD** можно задать вручную или определить автоматически.

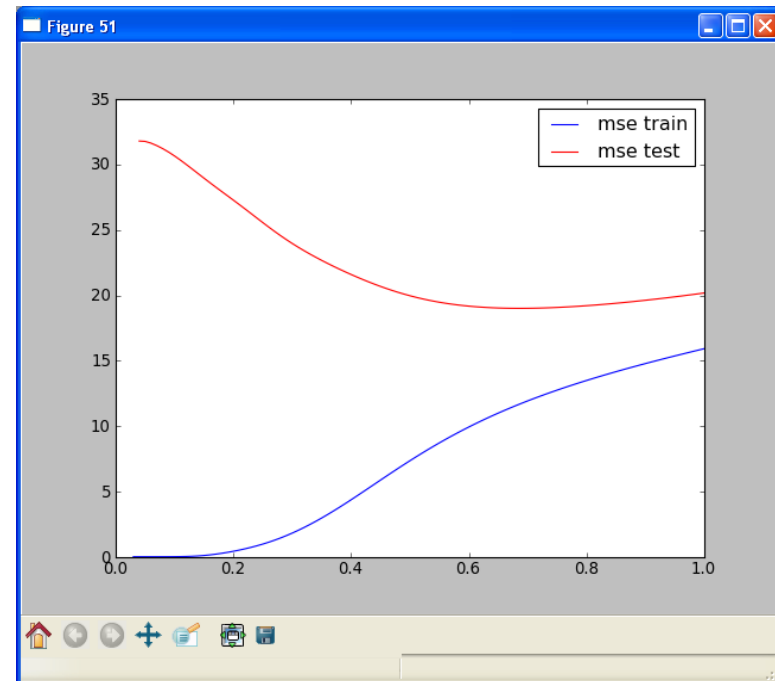
Прогнозирование с помощью нейронной сети обобщенной регрессии (GRNN)

-----НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ОБОБЩЕННОЙ РЕГРЕССИИ (GRNN)-----

параметры

SPREAD

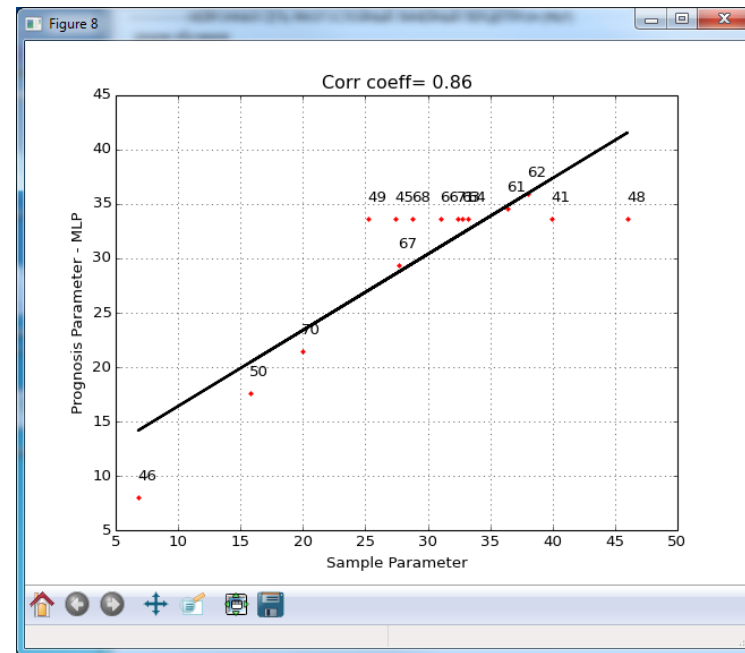
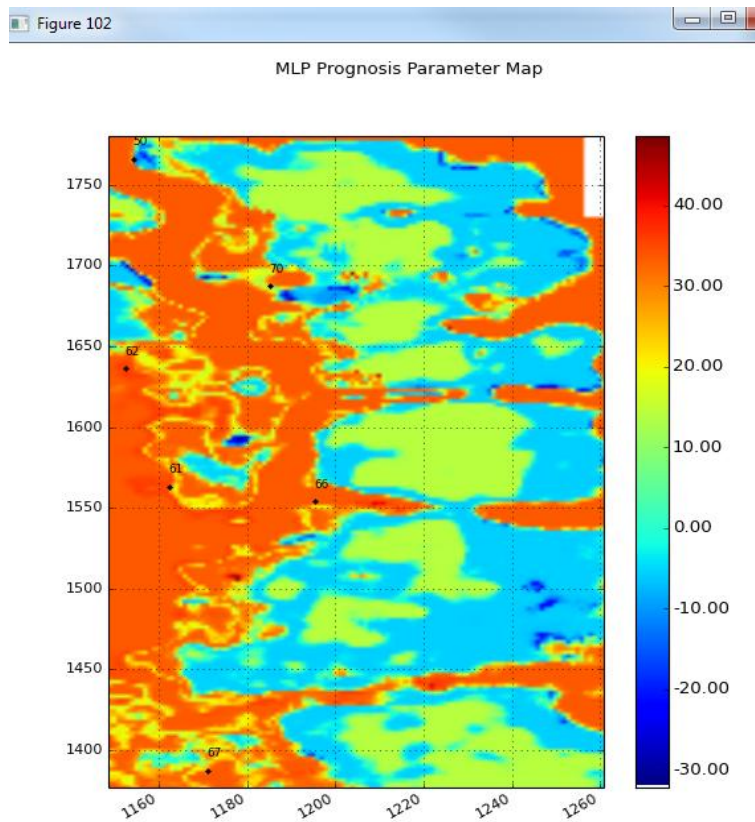
Кнопка “вычислить SPREAD” – автоматическое определение значения параметра SPREAD. После завершения процедуры определения величины SPREAD будет выведен график ошибок тренировочного и тестового множества, значение параметра занесется в поле “SPREAD” (рис.



Значение параметра SPREAD можно задать вручную. На первом шаге выбирается SPREAD = 1. Значение параметра SPREAD надо подбирать в зависимости от значений ошибки по методу перекрестной проверки.

Прогнозирование с помощью нейронной сети

линейный перцептрон (MLP)



- **Кросс-plot значений в скважинах и прогнозных**

- **Прогнозная карта по сети MLP**

Существуют два варианта выбора структуры MLP: самостоятельно задать количество нейронов в скрытых слоях или автоматический выбор.

Необходимо задать количество нейронов в скрытых слоях нейронной сети. Это можно сделать в соответствующих полях для ввода:

- **“число нейронов на 1-ом слое”** - количество нейронов в первом скрытом слое;
- **“число нейронов на 2-ом слое”** - количество нейронов во втором скрытом слое;
- **“число нейронов на 3-ем слое”** - количество нейронов в третьем скрытом слое;

Прогнозирование с помощью нейронной сети

Оценка результатов расчета

контроль

показать кросс-плот

выполнить кросс-проверку

Количество исключаемых скважин

1

• Результаты выполнения кросс-проверки

• Опции выполнения кросс-проверки

-----УПРАВЛЕНИЕ СКВАЖИНЫМИ ДАННЫМИ

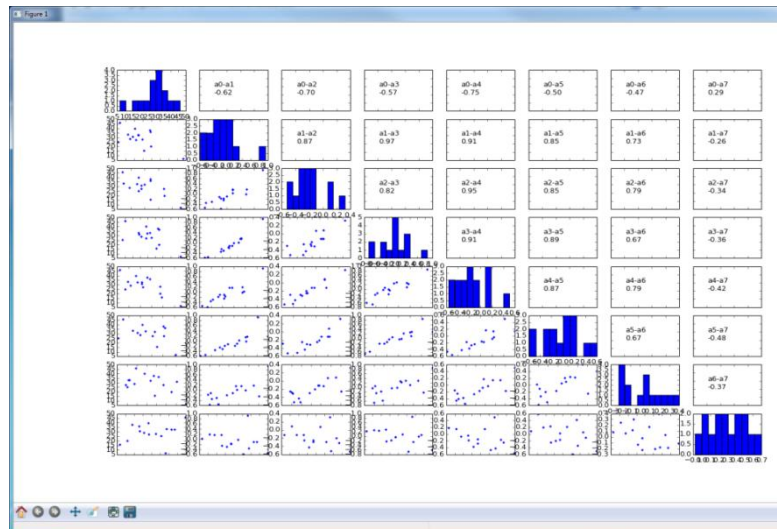
Загрузить в таблицу

Очистить таблицу

Матрица корр.

-----СТАТИСТИКА

	Параметр	MLR	GRNN	MLP
Среднее	29.4267	29.4267	30.1596	29.9865
Стандартное отклонение	9.839	8.0763	2.9217	7.9607
Коэффициент корреляции		0.8208	0.7245	0.8639
Среднеквадратичная ошибка		29.4743	59.9818	23.498
Ошибка/тренировочное множество		26.8939	58.6933	99.8962
Ошибка/тестовое множество		257.0428	91.8074	197.0549



• Статистический анализ связей между сейсмическими атрибутами

Прогнозирование с помощью нейронной сети

Статистические атрибуты

Neural Networks Seismic Attributes Prognosis Version 2.0.3 20090325

Загрузка данных | ГИС | **Статистические атрибуты** | Вычисления | Журнал

	Атрибут	PCA %	ICA %	PFA %
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				

-----Метод главных компонент
PCA | Использовать атрибуты PCA | 2 | Сохранить атрибуты PCA

-----Метод независимых компонент
ICA | Использовать атрибуты ICA | 2 | Сохранить атрибуты ICA

-----Факторный анализ
PFA | Использовать атрибуты PFA | 2 | Сохранить атрибуты PFA

-----Переход к исходным атрибутам
Использовать исходные атрибуты | Очистить таблицу

Figure 41: Eigen values

Figure 41: Eigen values

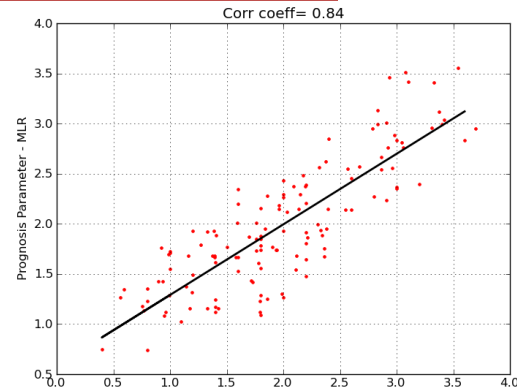
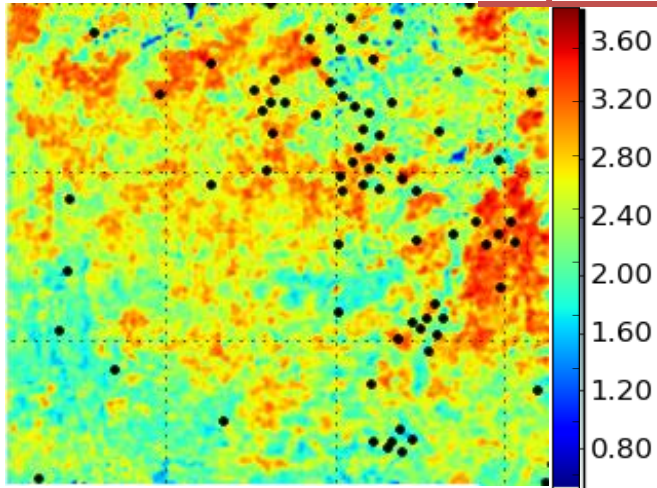
- Рабочее окно программы для расчета статистических атрибутов

- Поле “Метод главных компонент” Пользуясь данным графиком можно сделать вывод о том, какое число атрибутов следует выбрать: число атрибутов, при котором не наблюдается плавного замедления. Данный график носит рекомендательный характер.

- Поле факторный анализ

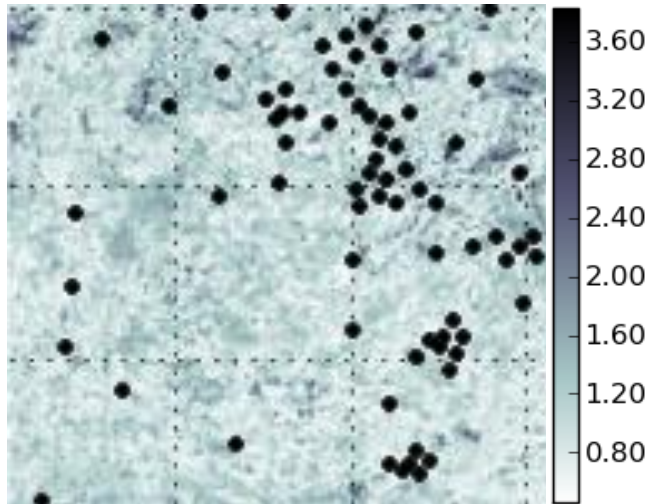
Прогнозирование с помощью нейронной сети

Оценка ошибок прогноза



- Кросс-плот

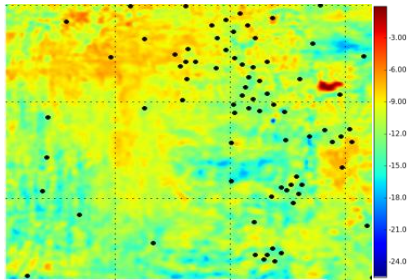
- Карта прогноза $N_{\text{эф}}^*$ и её зависимость от прогнозного параметра



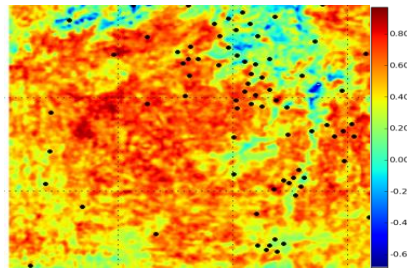
- Карта верхней границы доверительного интервала $N_{\text{эф}}^*$ для уровня значимости 0.05

Расчет карт кластеризации (карт сейсмических фаций)

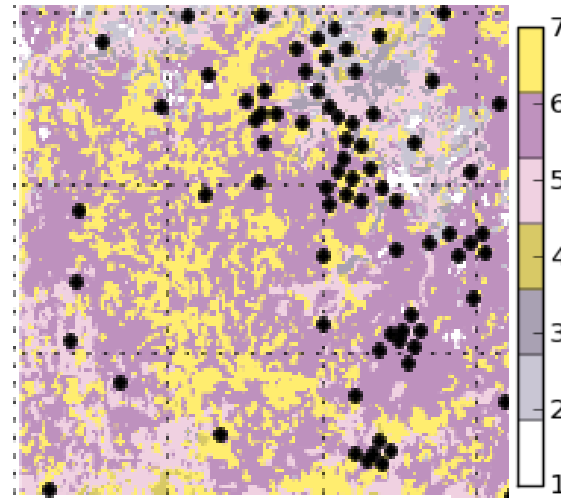
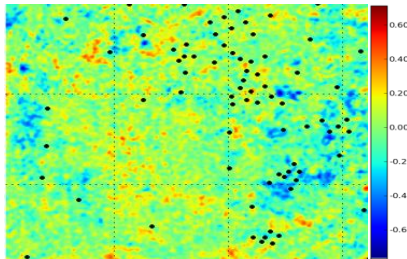
a1



a2



a3



- Результаты кластеризации 7 классов

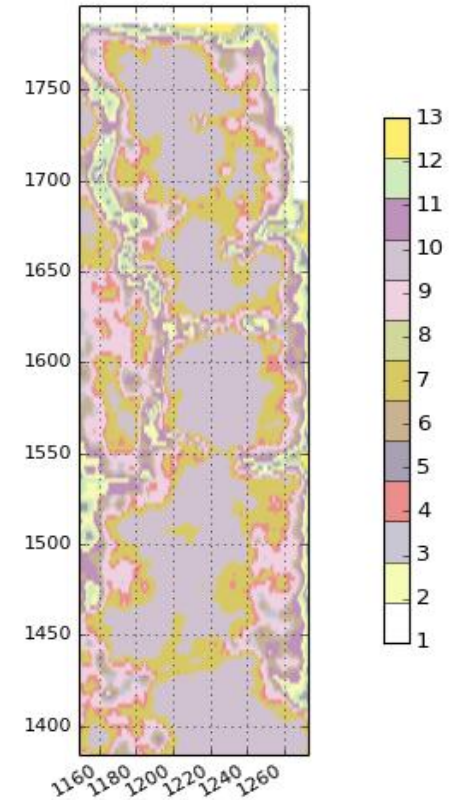
Комплексный алгоритм

Принудительная кластеризация Автоматическая кластеризация

Минимальное число кластеров

Максимальное число кластеров

- Окно расчета кластеризации



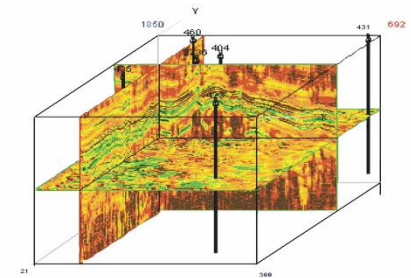
- Результаты кластеризации (7,9,13 классов)

- Три исходных атрибута

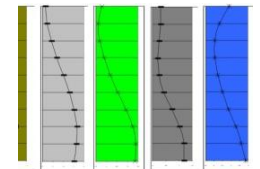
a1 – первая производная;
a2 – мгновенная униполярная фаза;
a3 - градиент.

Устойчивая форма кластеризации (как с заранее заданным, так и с автоматическим определением числа кластеров) для поиска геолого-геофизических формаций, отражающих сходство в многомерном пространстве заданного набора сейсмических атрибутов

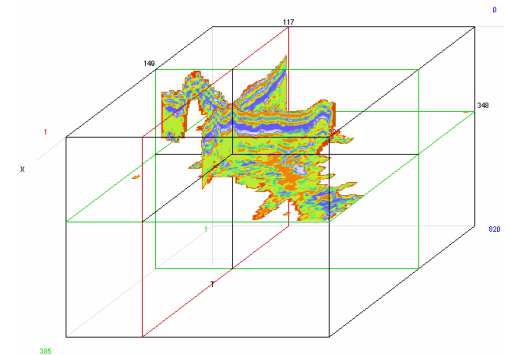
1. Кубы прогнозных параметров



2. Расчет карт сейсмических фаций по форме сигнала



3. Расчет кубов кластеризации с использованием сейсмических атрибутов



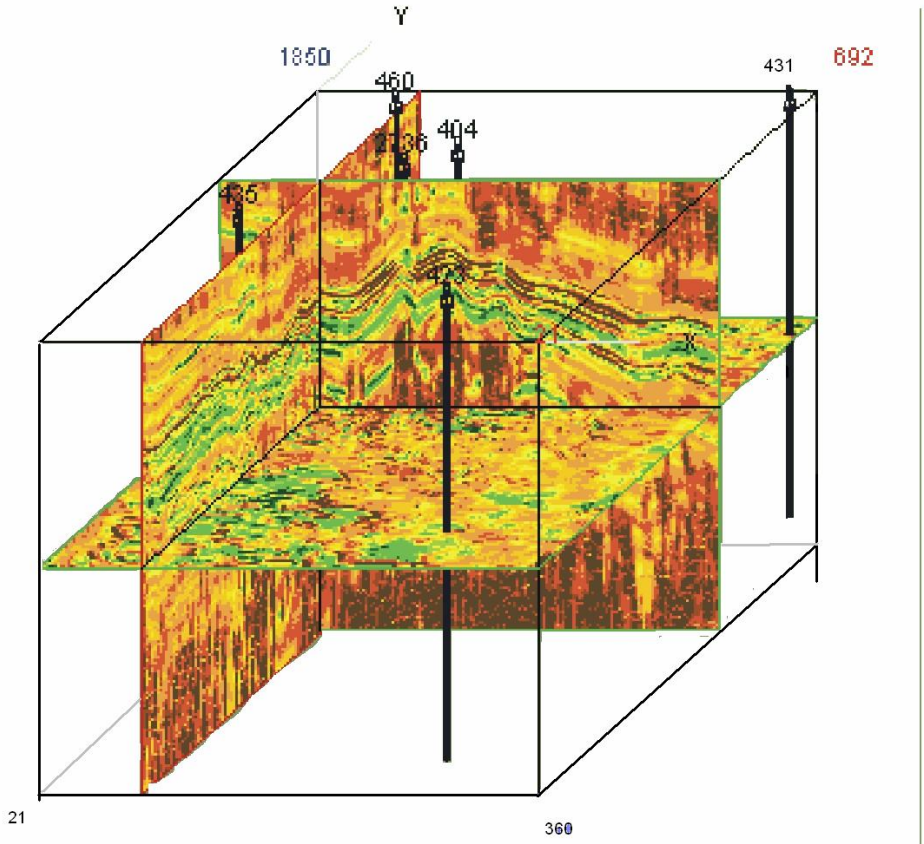
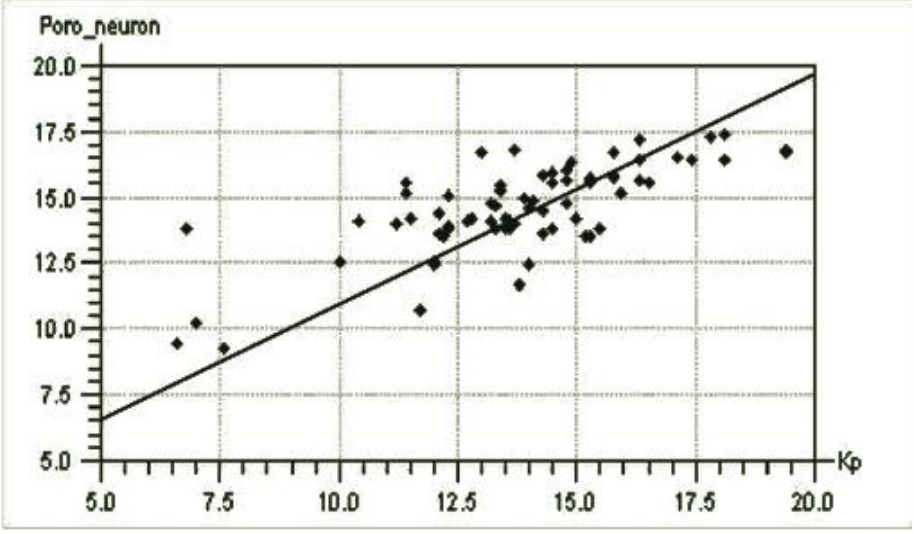
Программный комплекс – расширение функционала:

1. Кубы прогнозных параметров

Зависимость прогнозного параметра от истинного

$K_{кор}=0.75$

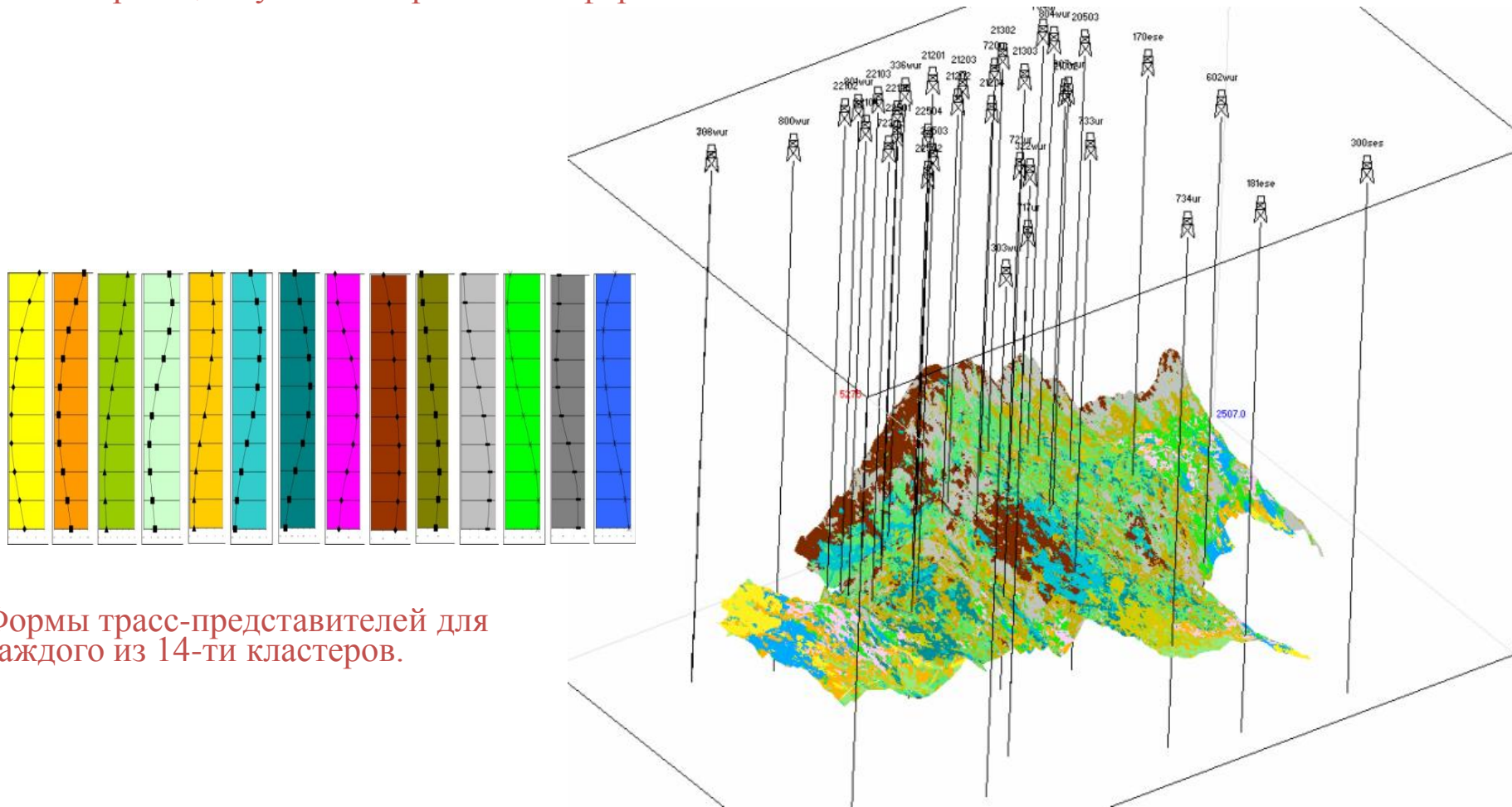
Куб 3D пористости по нейронной сети



Программный комплекс – расширение функционала:

2. Расчет карт сейсмических фаций по форме сигнала

Карта сейсмических фаций, построенная путем кластеризации участков трасс по их форме в окне 20мс.

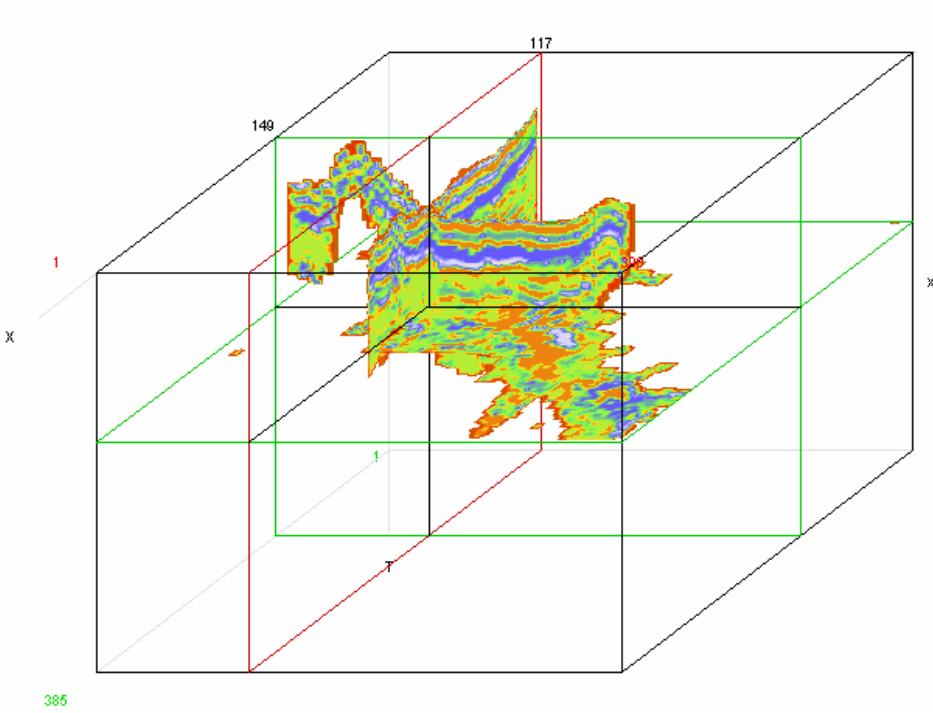


Формы трасс-представителей для каждого из 14-ти кластеров.

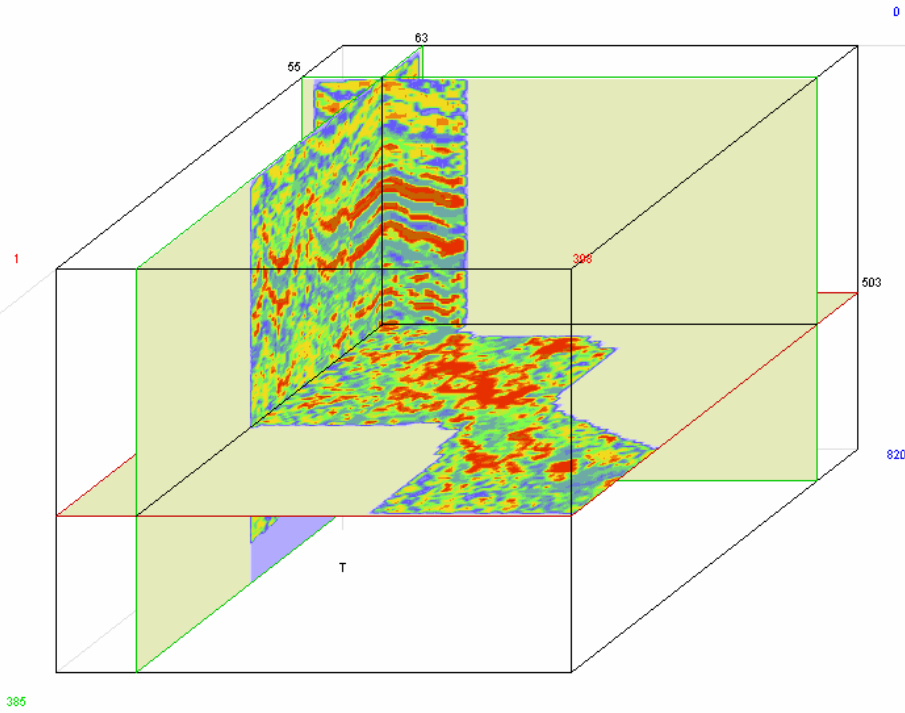
Программный комплекс – расширение функционала:

3. Расчет кубов кластеризации с использованием сейсмических атрибутов

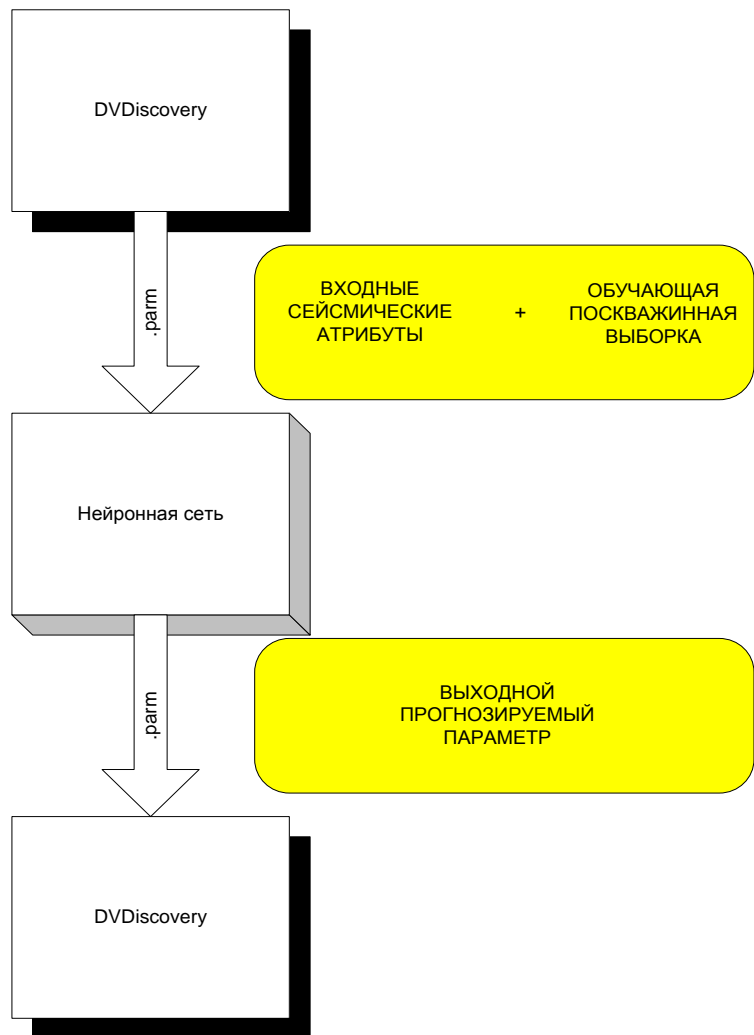
Кластеризация по полному кубу



Кластеризация по подкубу



- Интеграция программы Seispron



- Минимальные технические требования

Процессор:	типа Pentium 4 2600 мгц и более, для 64 разрядной версии соответственно процессор с поддержкой набора команд AMD64 или EM64T.
Оперативная память:	1024 мб и более
Дисковая память:	120 мб и более (зависит от размеров проектов)
Сетевая карта:	10 мбит/с и более
Графическая подсистема:	стандартный SVGA адаптер.
Разрешение экрана:	1024 * 768 и более.
Операционная система:	MS Windows 2000/XP/XP x64/Windows 7 Возможна также работа программы в среде операционной системы *nix типа (Linux, FreeBSD и др.).

Для удобства интеграции в сейсмические обрабатывающие комплексы технология позволяет получать карты и выборку, а также возвращать полученный результат в наиболее популярных форматах данных (.parm, .csv, .cps)

Спасибо за внимание

SeisProN

Нейросетевое моделирование и
кластерный анализ сейсмических и
скважинных данных

Контактное лицо: Логинов Дмитрий Викторович

тел.: +7(499)192-8142

E-mail: loginovdv@gmail.com

123298, г. Москва, ул. Народного Ополчения, д. 38, корп. 3

Москва, ОАО «ЦГЭ»
июль 2014 г.

<http://www.cge.ru>
E-mail: cge@cge.ru
Tel: (499) 192 6415
Fax: (499) 192 8088

