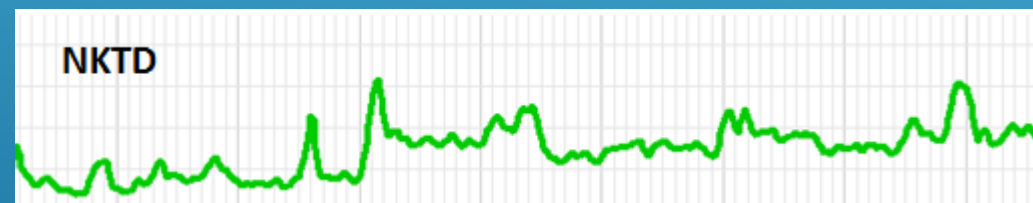
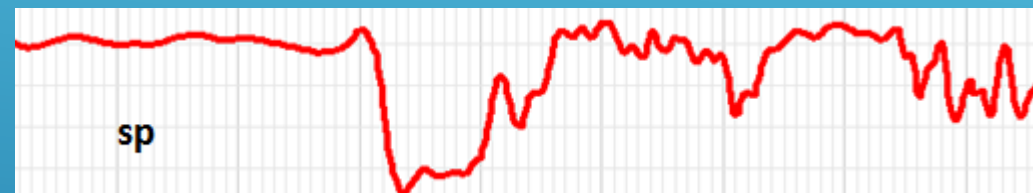
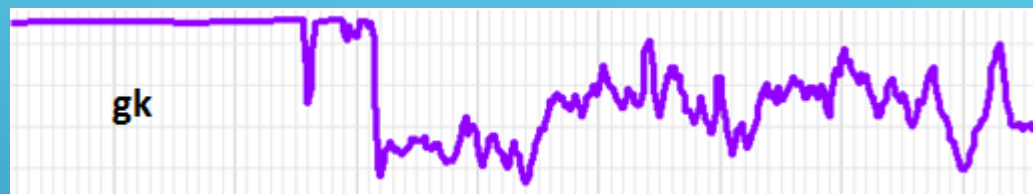
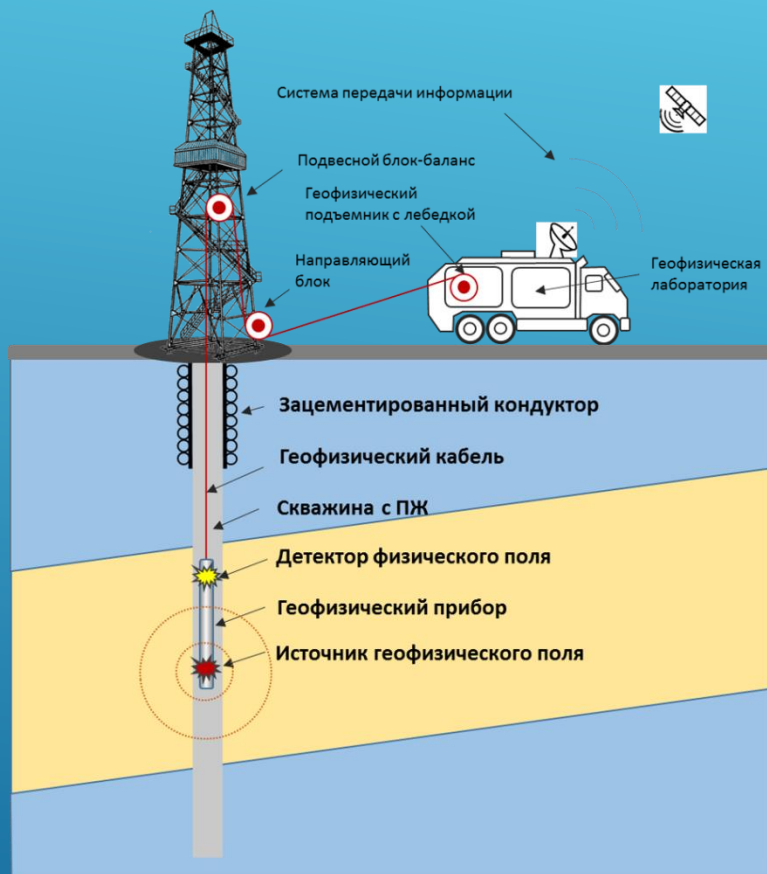


# СИНТЕЗ КРИВЫХ ГИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНЫХ КОНКУРИРУЮЩИХ ГЛУБОКИХ КОНВОЛЮЦИОННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

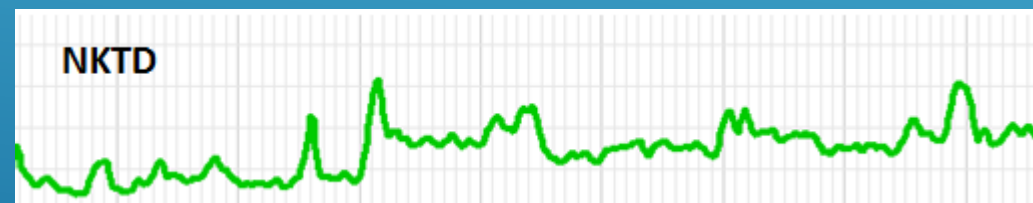
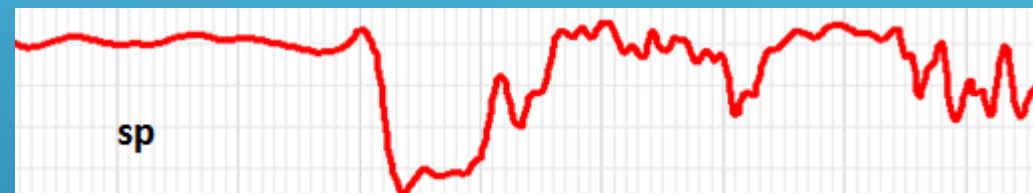
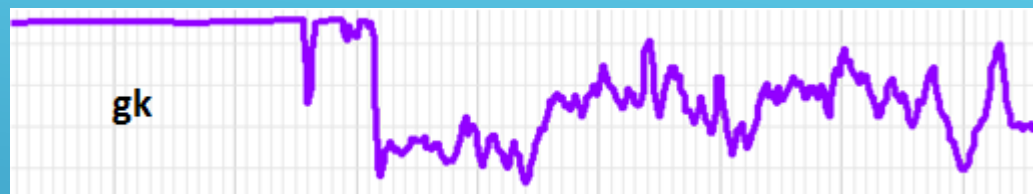
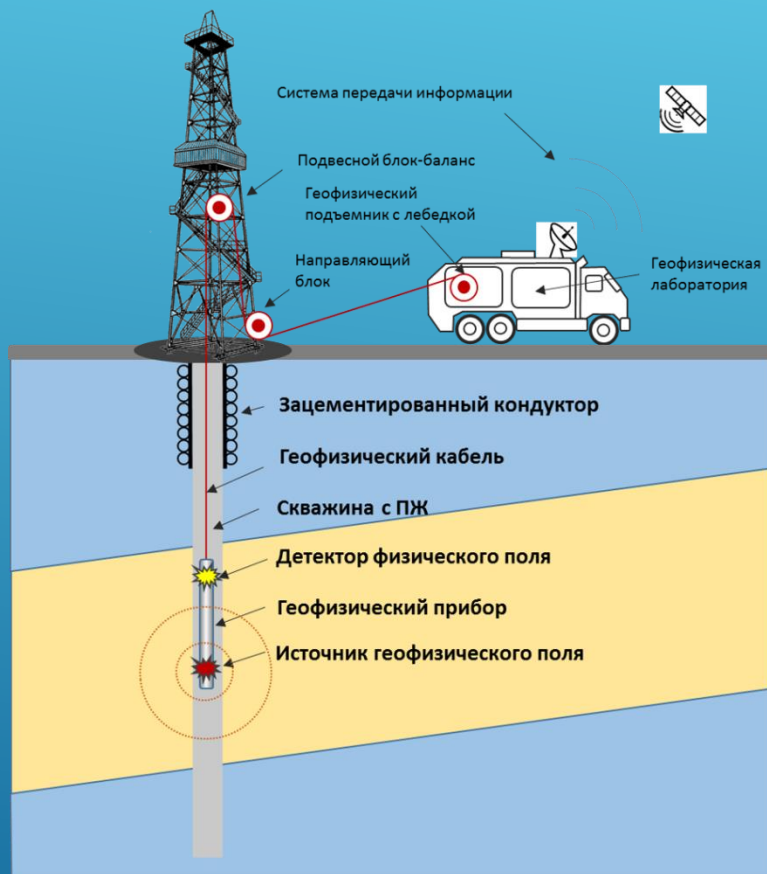
**В. Горбачевич**, Ю. Визильтер (ФГУП «ГосНИИАС»),  
А. Хайдаров, А. Яковлев (ООО «Газпромнефть НТЦ»)

# Геофизическое исследование скважин



Кривая ГИС представляет собой одномерный сигнал, получаемый в результате измерения (при помощи датчика) значений некоторого физического поля на разных глубинах вдоль ствола скважины

# Геофизическое исследование скважин

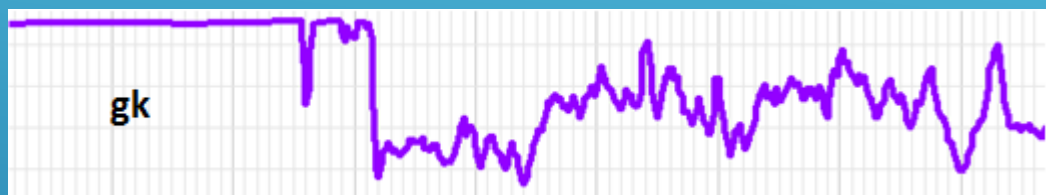


Анализ кривых ГИС проводится вручную экспертами геологами.

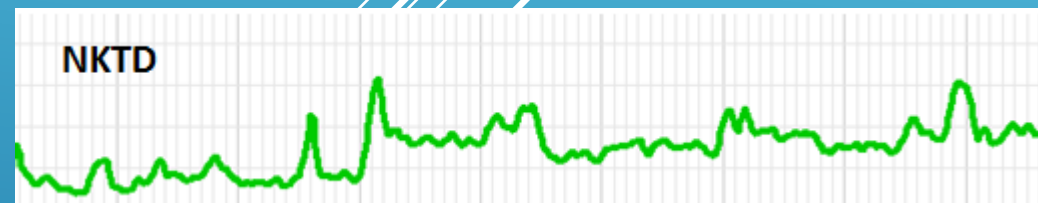
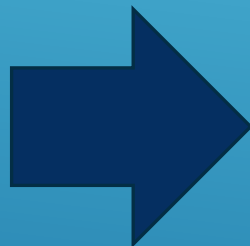
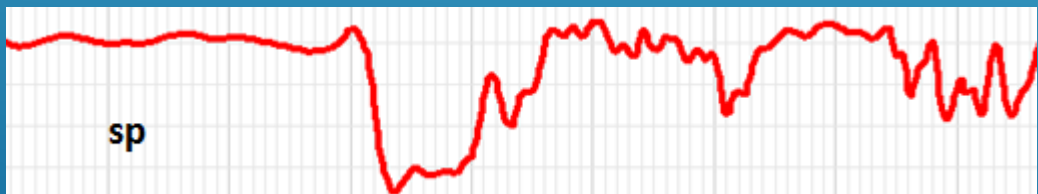
# Задача синтеза отсутствующего исследования

Синтез(восстановление) значений сигнала ГИС:

1. Синтез кривой по другим исследованиям

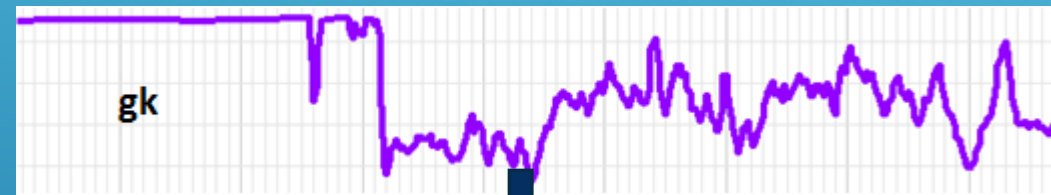


+

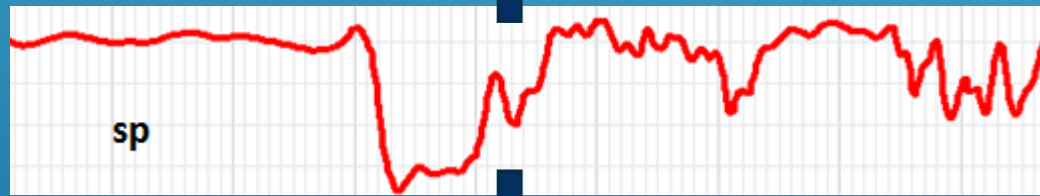


# Задача синтеза участка исследования

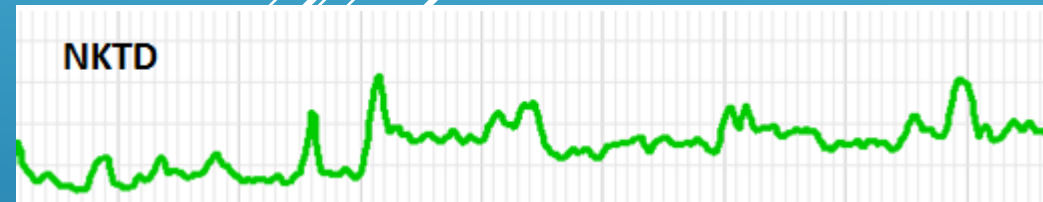
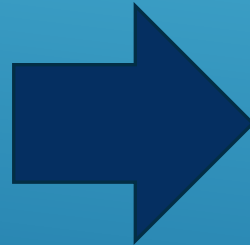
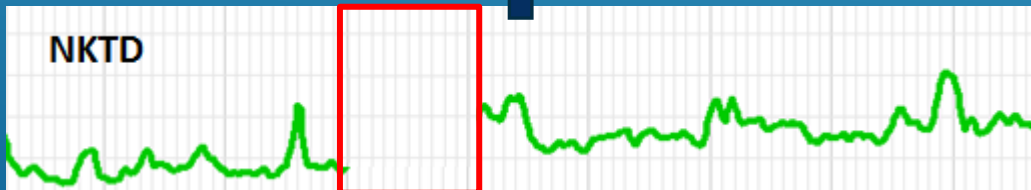
Синтез(восстановление) значений сигнала ГИС:  
2. Синтез участка кривой



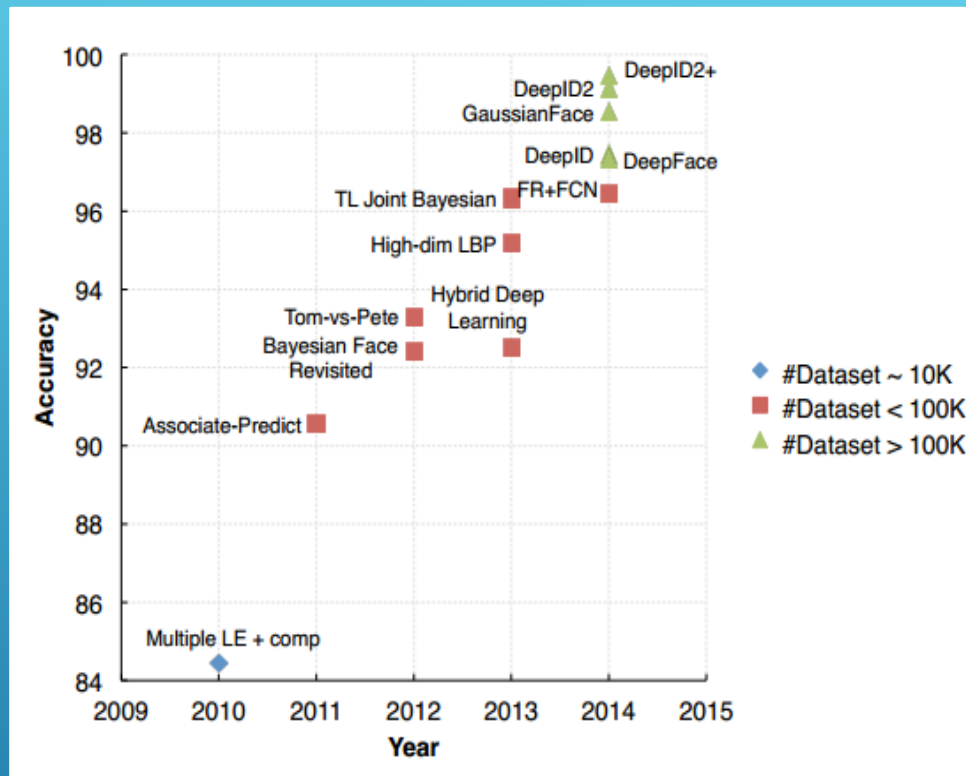
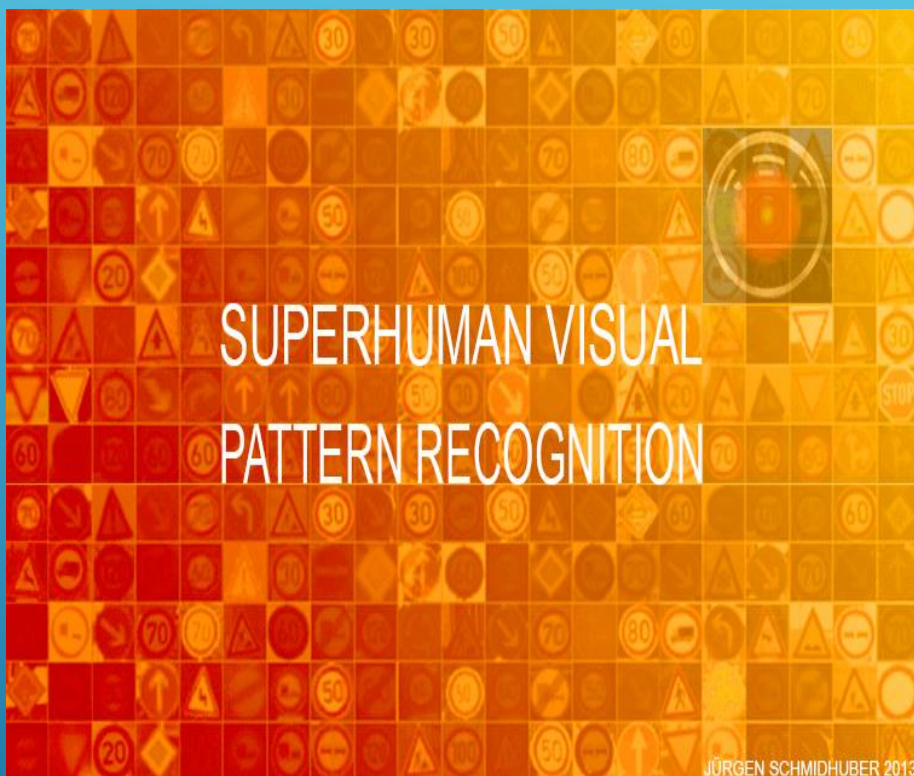
+



+



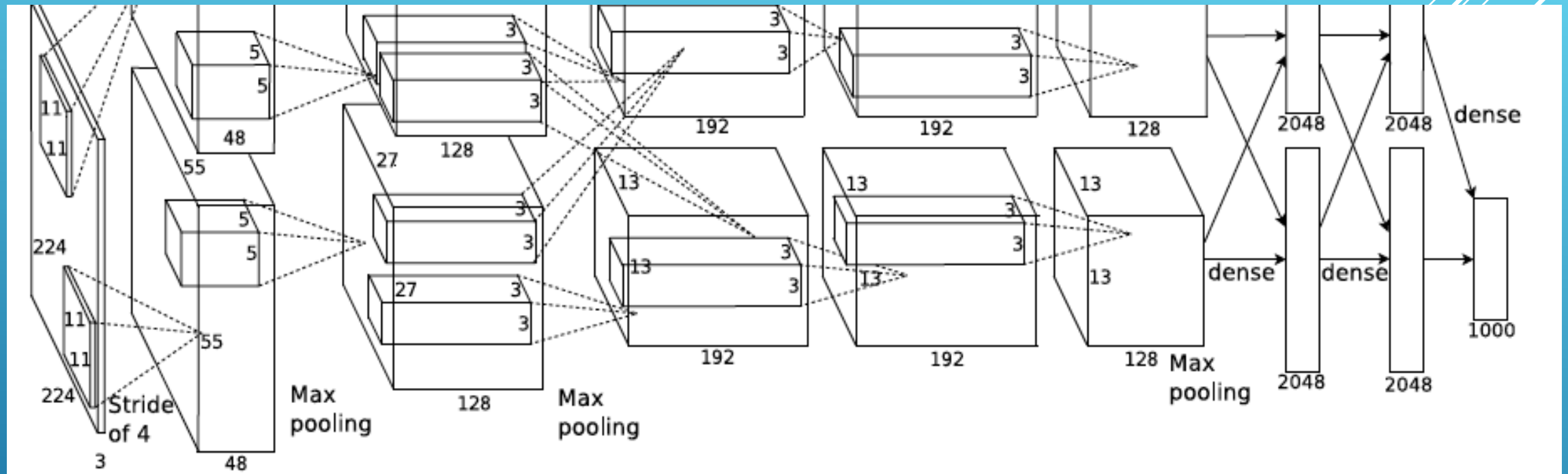
# Предпосылки



Появление нового класса алгоритмов на основе **глубоких конволюционных нейронных сетей**



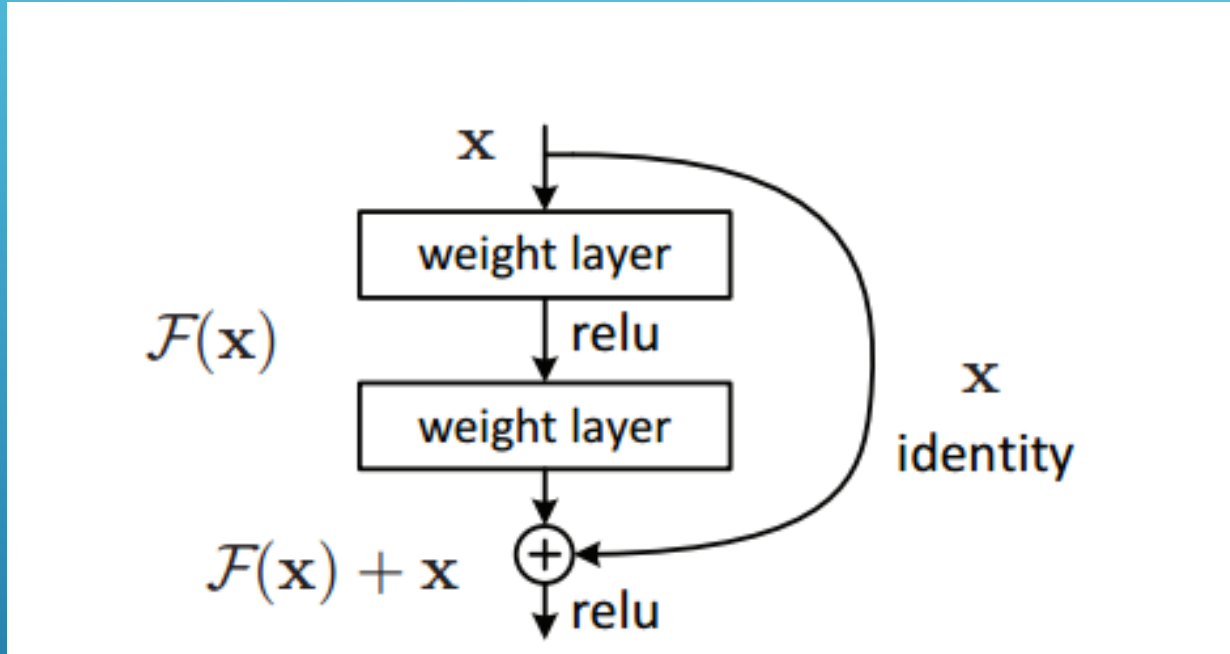
# Convolutional Neural Networks (CNN)



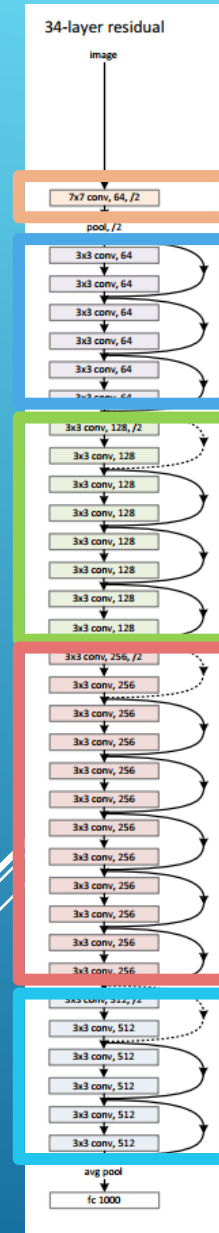
Krizhevsky et al. [NIPS 2012]

**7 hidden layers, 650,000 neurons, 60,000,000 parameters**

# ResNet



Резидуальный блок



- блок 1: снижение размерности
- блок 2: снижение размерности
- блок 3: снижение размерности
- блок 4: снижение размерности
- блок 5: снижение размерности



# Особенности каротажных кривых

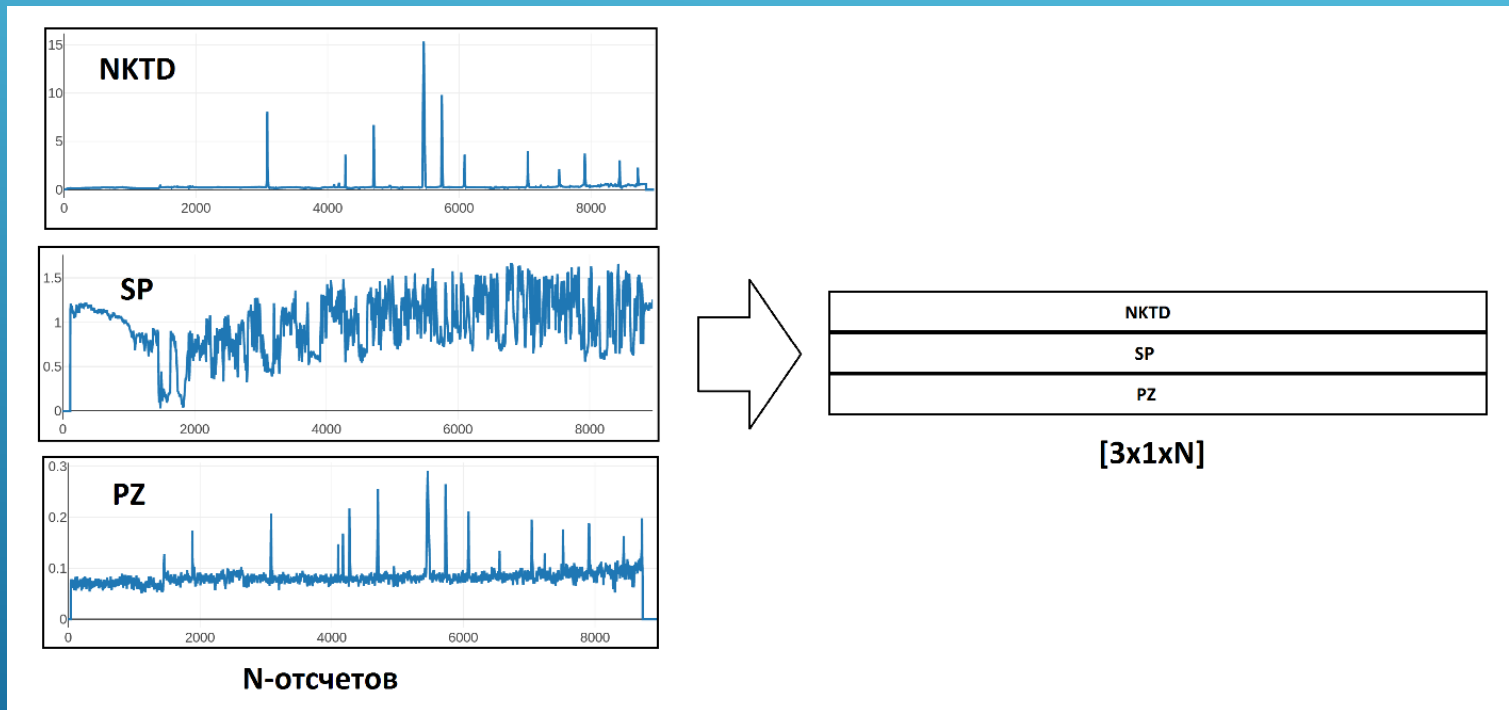
Особенности каротажных кривых:

1. Крайне высокая вариативность
2. Наличие большого количества искажений (как типизированных так и нет)
3. Большое количество “битых” данных (пропуски)

**Для учёта данных особенностей использовались специализированные слои аугментации данных, а также различные представления данных**

# Представление данных

Представление кривых в виде 1D сигналов:



Естественный формат для ГКС - тензоры

# Разработка методики учета особенностей каротажных кривых

Маскированная функция потерь:

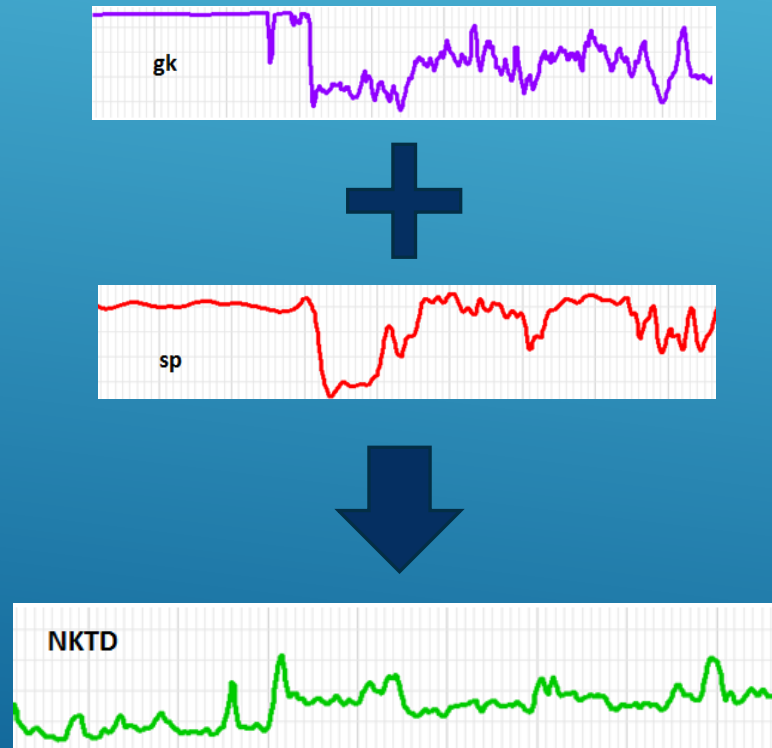
$$L_{REC} = \sum_{i=1..n} \sum_{j=1..m} \left\| k_j * (g_{i,j} - g_{i,j}^R) \circ M_{i,j} \right\|$$

где

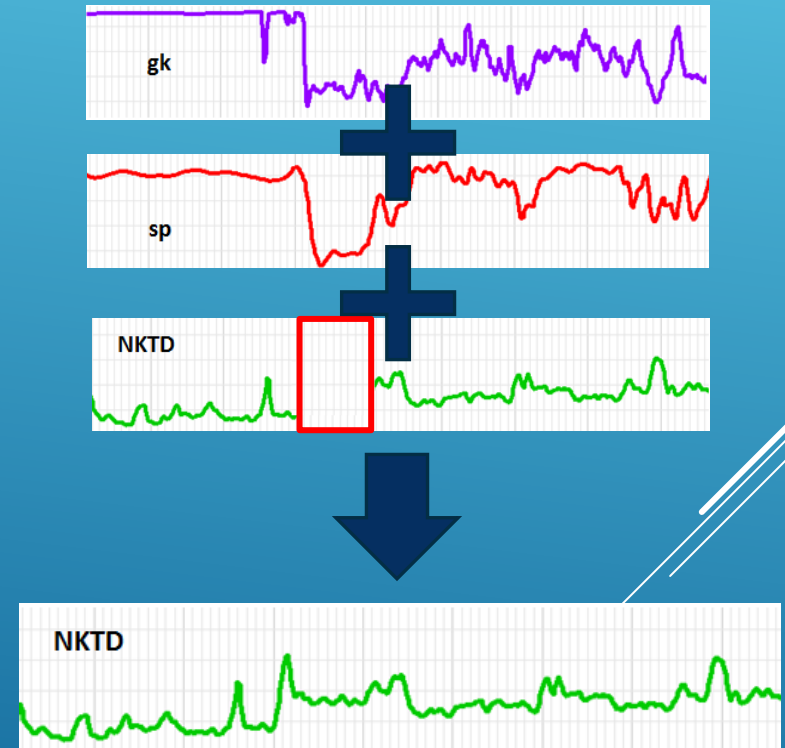
- $k_j$  – нормировочный коэффициент исследования  $j$
- $g_{i,j}$  –  $i$ -ая кривая ГИС обучающей выборке, соответствующая исследованию  $m$ ,
- $M_{i,j}$  – маска соответствующая кривой  $g_{i,j}$ , маска представляет собой бинарный вектор, в котором 0 соответствуют отсутствующим значениям в кривой  $g_{i,j}$  (например -999.25)
- $\circ$  – поэлементное произведение,
- $*$  – произведение вектора на скаляр.

# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

Синтез кривой по другим исследованиям



Синтез участка кривой



# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

Схожие задачи технического зрения:



inpainting

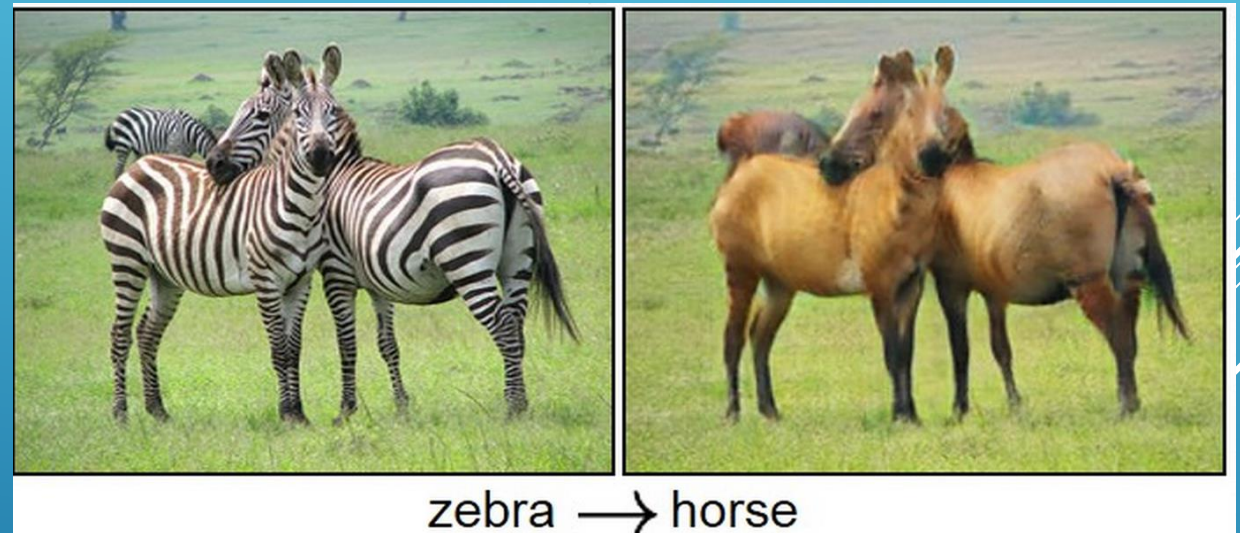
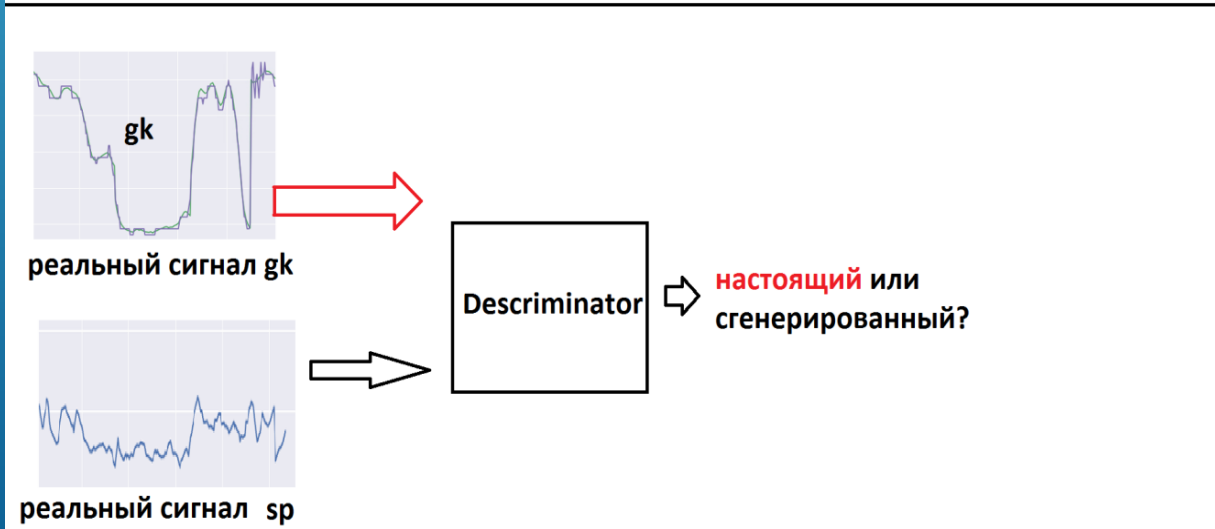
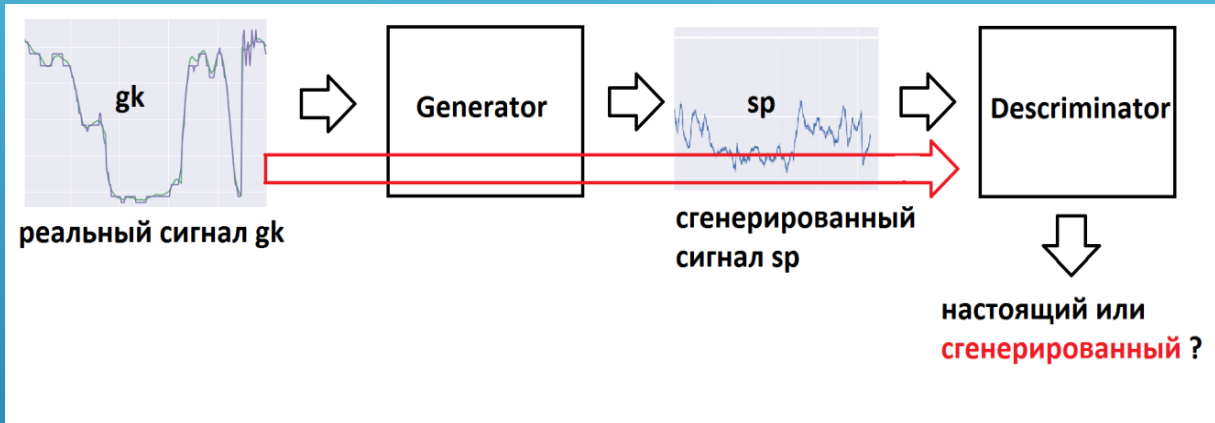


image to image translation



# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

Генеративные соревнующиеся сети:



$$L = L_{GAN}(G, D) + \lambda L_{REC}(G)$$

$$L_{GAN} = \log(D(x, y)) + \log(1 - D(x, G(x, z)))$$

$y$  - пример, относящийся к реальному сигналу

$x$  - входной сигнал

$z$  - случайный сигнал

$D$  - Дискриминатор

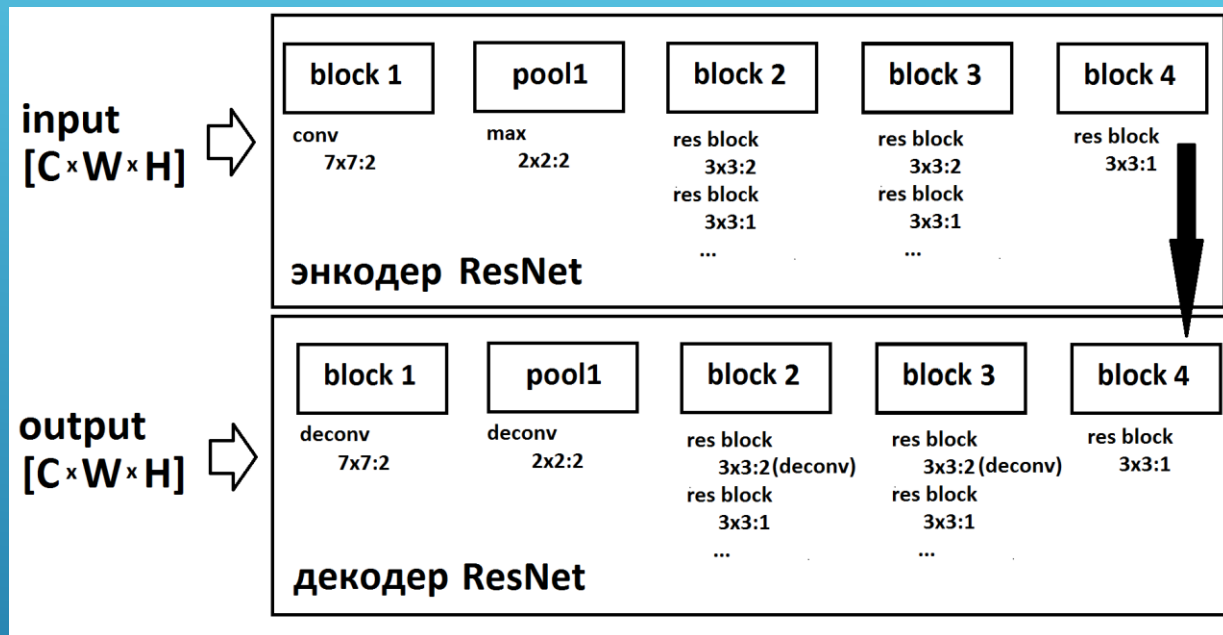
$G$  - Генератор

$L_{REC}$  - функция потерь "реконструкции"

$$G^* = \arg \min_G \max_D L_{GAN}(G, D) + \lambda L_{REC}(G)$$



# АРХИТЕКТУРА RESNET-RESNET



## Схема архитектуры ResNet-ResNet

Обычно для синтеза изображений используется схема энкодер-декодер. При этом декодер обладает относительно простой архитектурой (например ResNet50 + 3xDecv). В данной работе предлагается архитектура ResNet-ResNet, кодером в данном случае выступает сеть ResNet декодером также сеть ResNet с слоями деконволюции.

Архитектура	ошибка восстановления кривой
ResNet50 + 3xDecv	25100
ResNet50-ResNet18	7300
ResNet18-ResNet18	15000
Unet	34000

Сравнение архитектуры ResNet + Deconv с разработанной ResNet-Res-Net на примере решения задач вычисления диспаратности кривых ГИС и задачи синтеза ГИС.

Обучение ГКНС проводилось при оптимальных настройках. Размер входного сигнала 2048 отсчётов.

# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

## Схема обучения



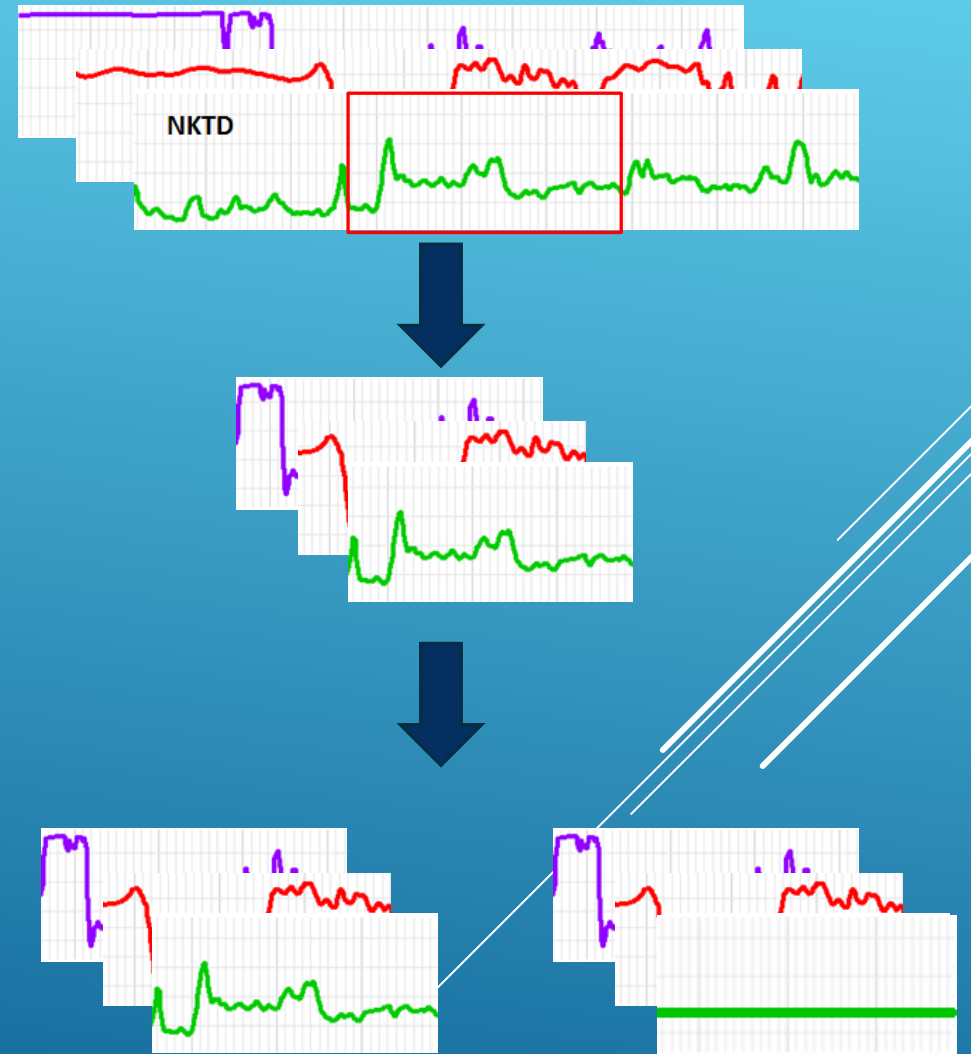
Области подлежащие восстановлению помечаются константным значением 0  
Если требуется восстановить исследование целиком на вход подаётся нулевой сигнал

# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

## Алгоритм аугментации

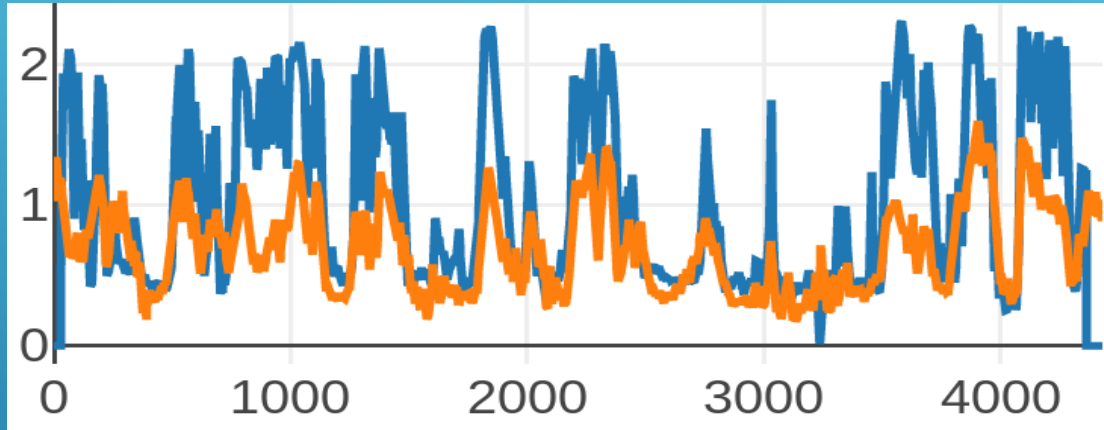
Алгоритм аугментации :

1. Из обучающей выборки случайным образом выбирается  $b$  элементов.
2. Для каждого из  $b$  элементов случайным образом вырезается многоспектральный сигнал с  $n=2048$  отсчётами. Формируется два тензора  $AUG$  и  $RES$  с размерностью  $[b * m * 1 * 2048]$ .
3. С вероятностью  $p_z = 0.4$  для каждого из  $b$  элементов тензора  $AUG$  проводится обнуление одного из сигналов ГИС (сигнал подлежащий восстановлению).
4. Выходом алгоритма являются два тензора  $AUG$ , который является входу сети и тензор  $RES$ , который является ответом учителя.

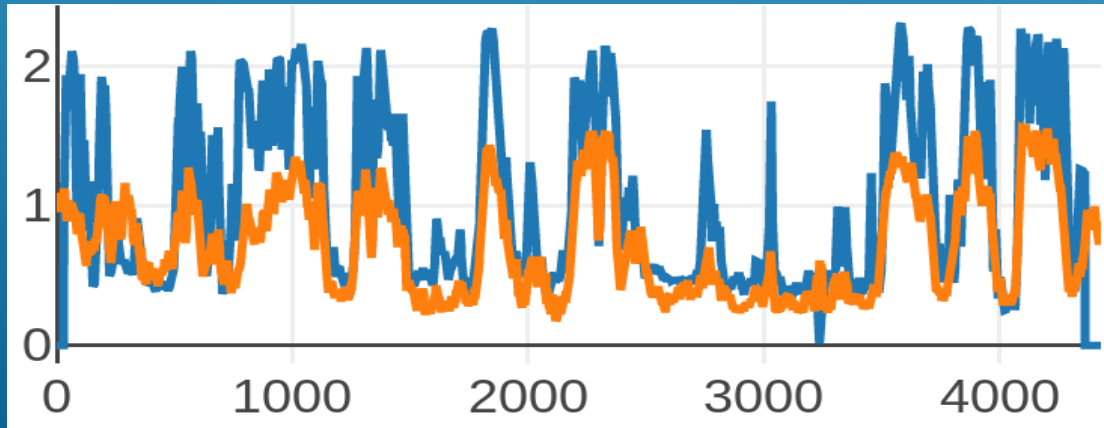


# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

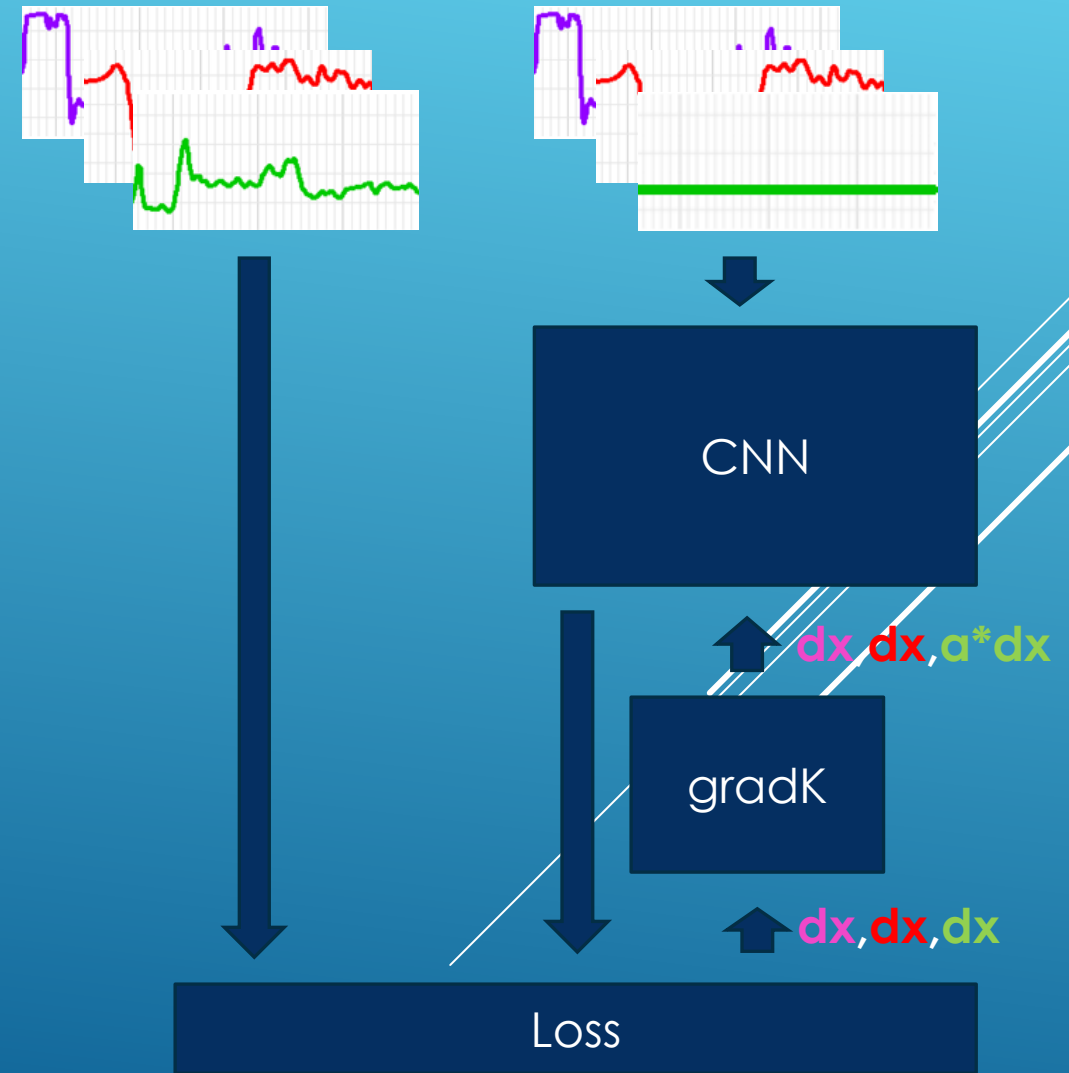
Слой усиления градиентов:



Без слоя усиления градиентов

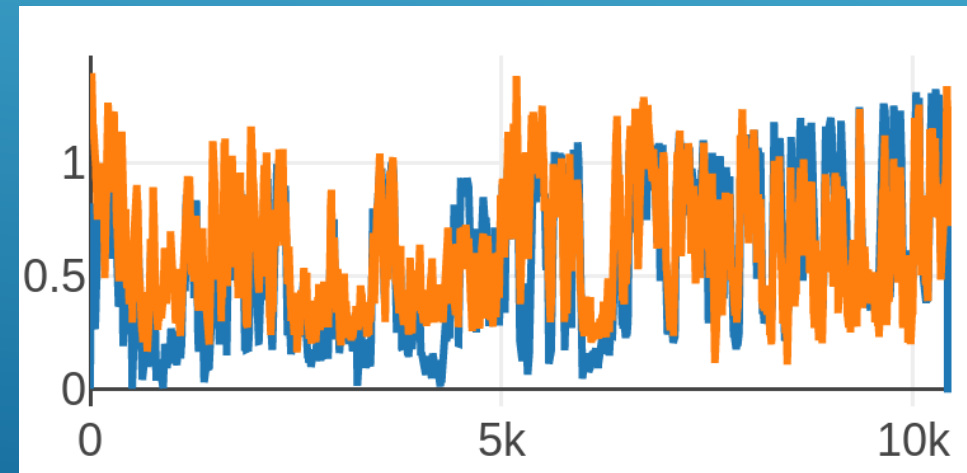
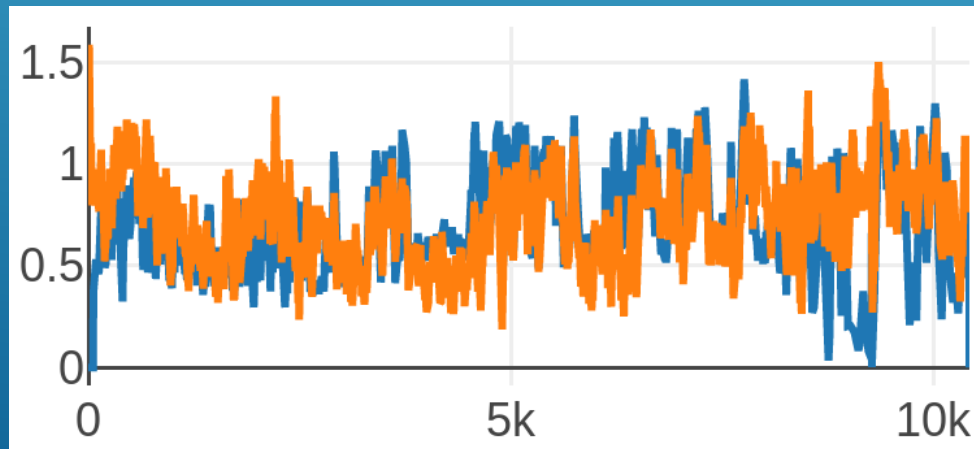
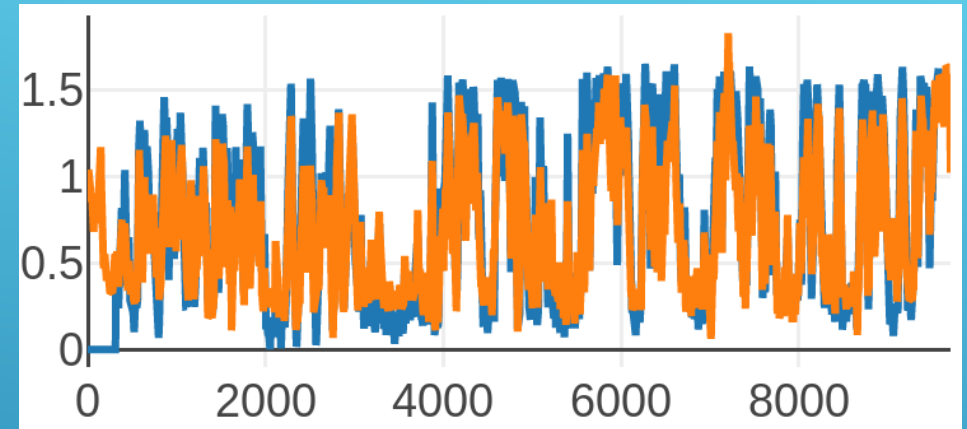
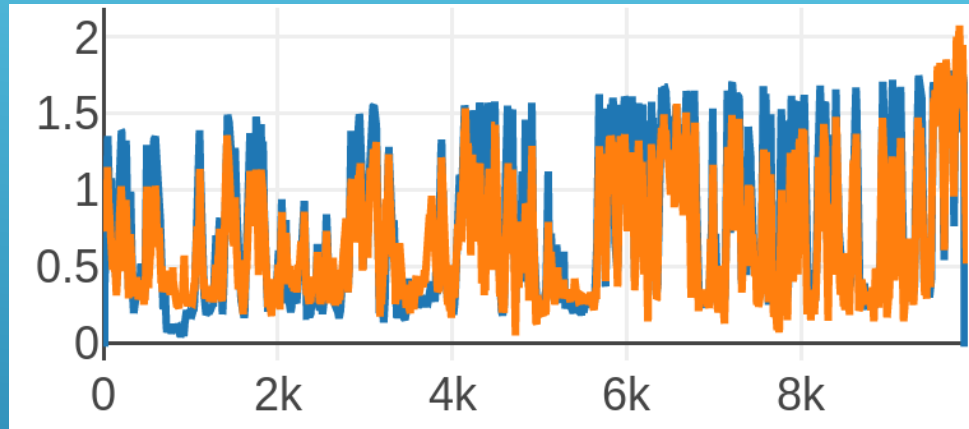


Со слоем усиления градиентов



# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

Эксперименты:



# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

## Эксперименты:

Обучающая выборка: 359

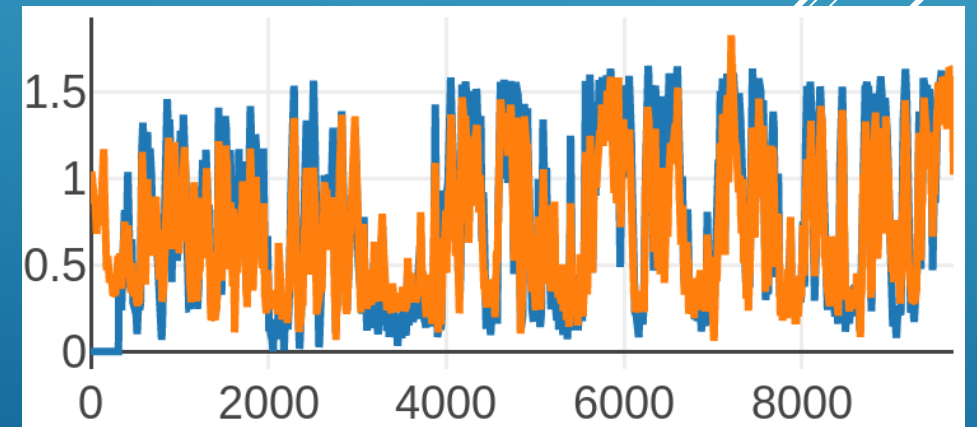
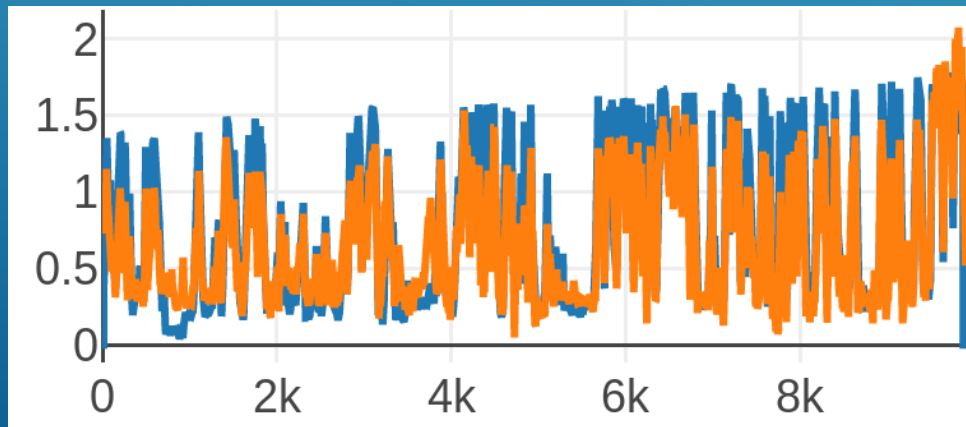
Тестовая выборка: 35

Сеть	3 канала	5 каналов
Unet 3ch	0.2	0.15
ResNet18-ResNet18	0.75	0.76
ResNet50-ResNet18	0.81	0.85

	1 скважина
GPU(GTX 1080)	28 мс
CPU(Core i7 5930K 1 поток)	2123 мс

Сеть	sp	pz	nktd
ResNet50-ResNet18	0.83	0.72	0.9

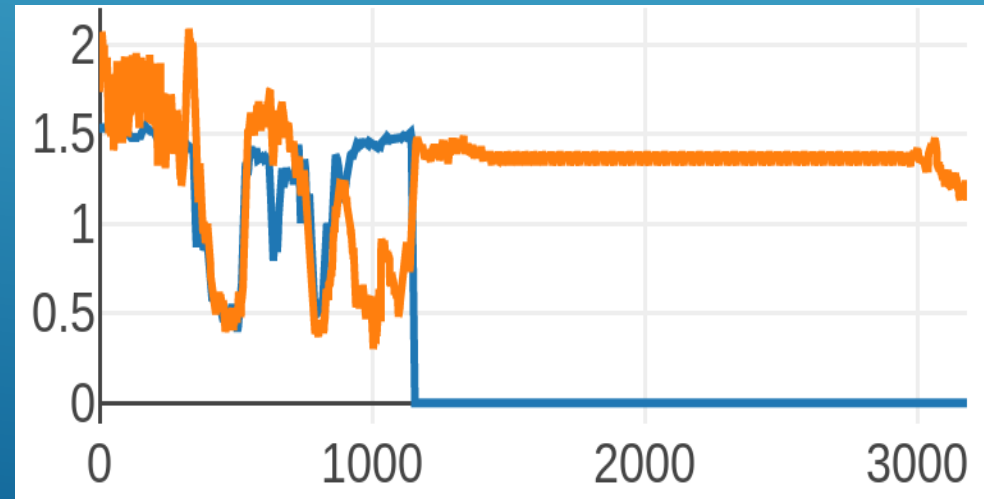
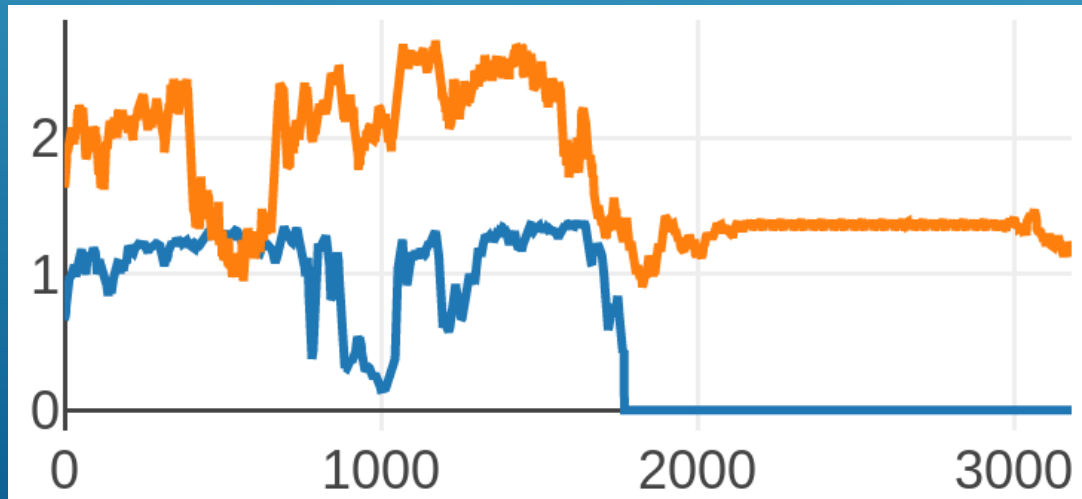
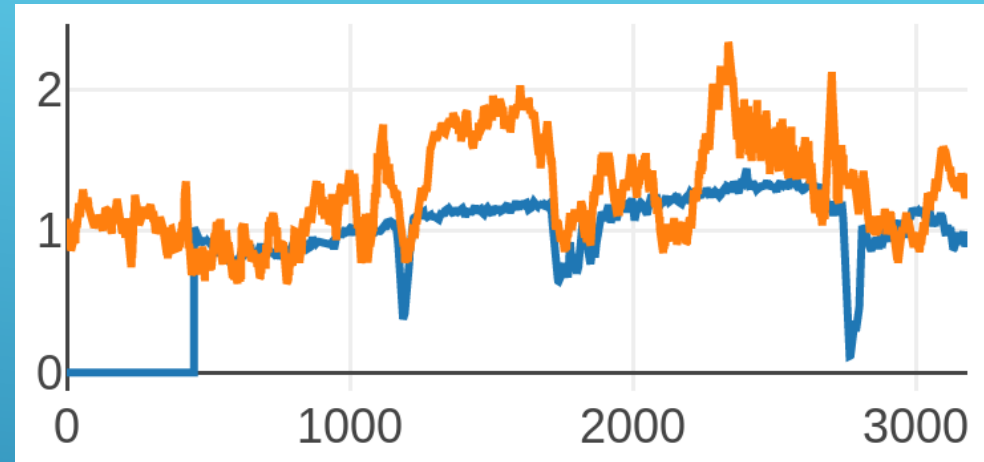
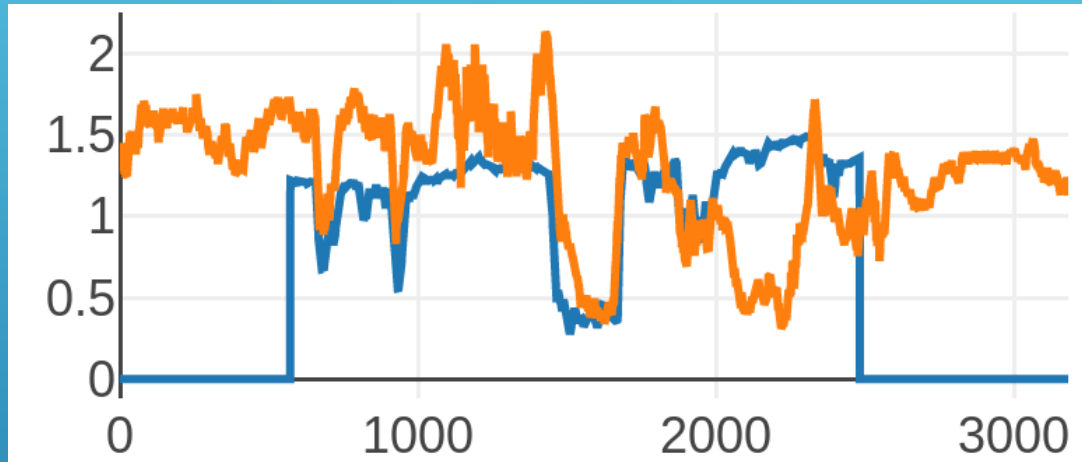
Коэффициент корреляции Пирсона





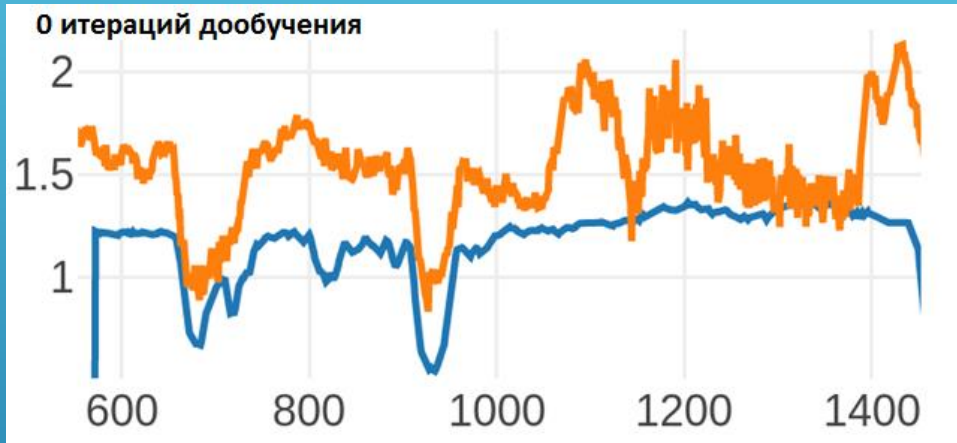
# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

Перенос на местность с другой геологией:



# СИНТЕЗ (ВОССТАНОВЛЕНИЕ) ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛА ГИС:

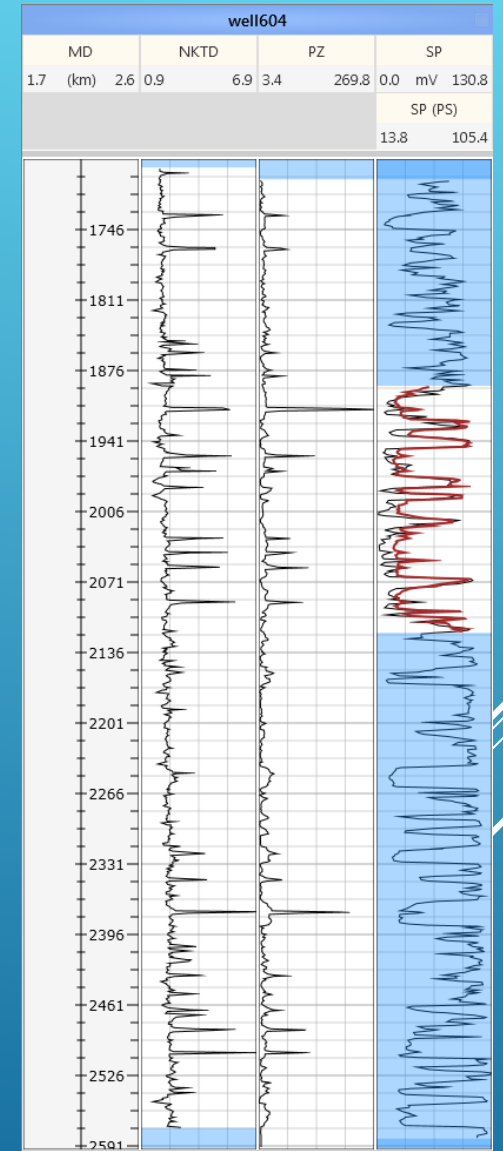
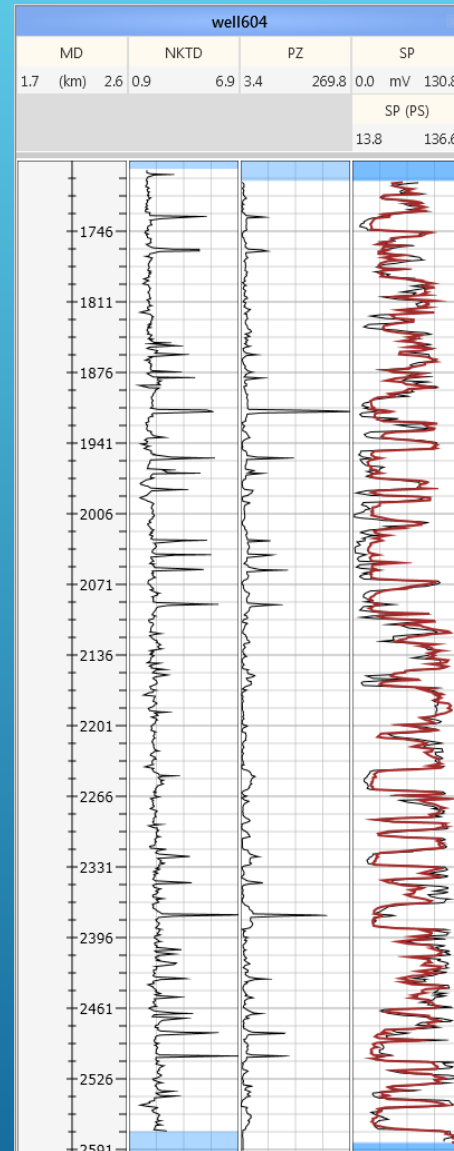
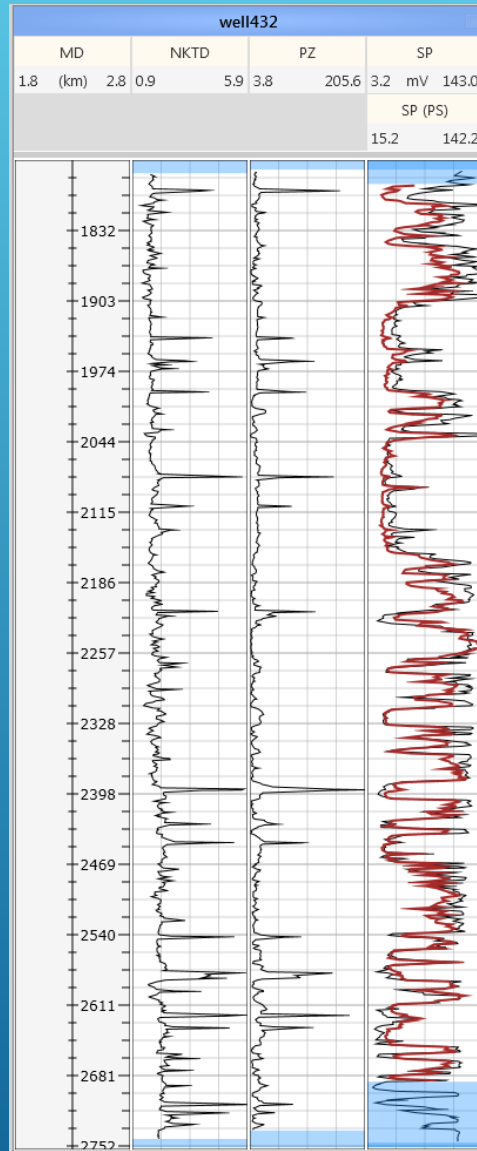
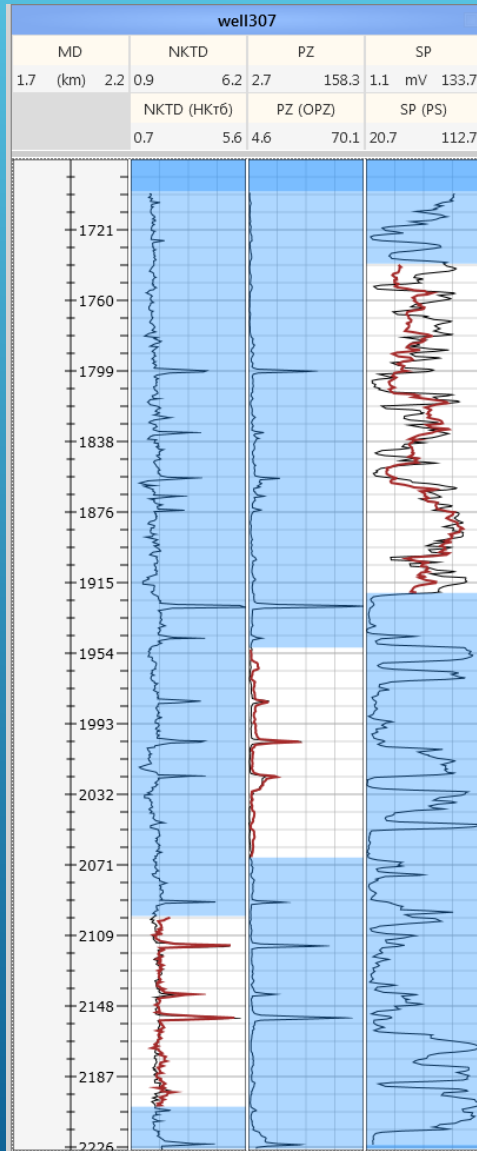
Перенос на местность с другой геологией:



Дообучение происходит крайне быстро, что говорит о том, что признаки характерные для одной местности схожи с признаками характерными для другой.



# ПРИМЕРЫ РАБОТЫ



Примеры работы ПО по другим местностям(со схожей геологией)

# ВЫВОДЫ

1. Предложена архитектура ГНС ResNet-ResNet для решения задачи анализа одномерных мультиспектральных сигналов
2. Предложено многоспектральное представление кривых ГИС, позволяющее эффективно использовать ГНС для анализ данных
3. Предложена схема обучения ГНС для решения задачи восстановления кривых ГИС
4. Тестирование проведённое по реальным данным, а также независимое тестирование проведённое экспертами геологами показало, что алгоритм позволяет восстанавливать отсутствующие геофизические исследований скважины с качеством, достаточным для последующего анализа экспертом-геологом.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**СИНТЕЗ КРИВЫХ ГИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГЕНЕРАТИВНЫХ КОНКУРИРУЮЩИХ  
ГЛУБОКИХ КОНВОЛЮЦИОННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**В. Горбачевич, Ю. Визильтер (ФГУП «ГосНИИАС»),  
А. Хайдаров, А. Яковлев (ООО «Газпромнефть НТЦ»)**