

• ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ TAIGA-HiSCORE

• Власкина А.А.^{1,2}, Крюков А.П.²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Россия, Москва, nina.vankalas@gmail.com

²НИИЯФ МГУ, Россия, Москва, kryukov@theory.sinp.msu.ru

Установка TAIGA-HiSCORE

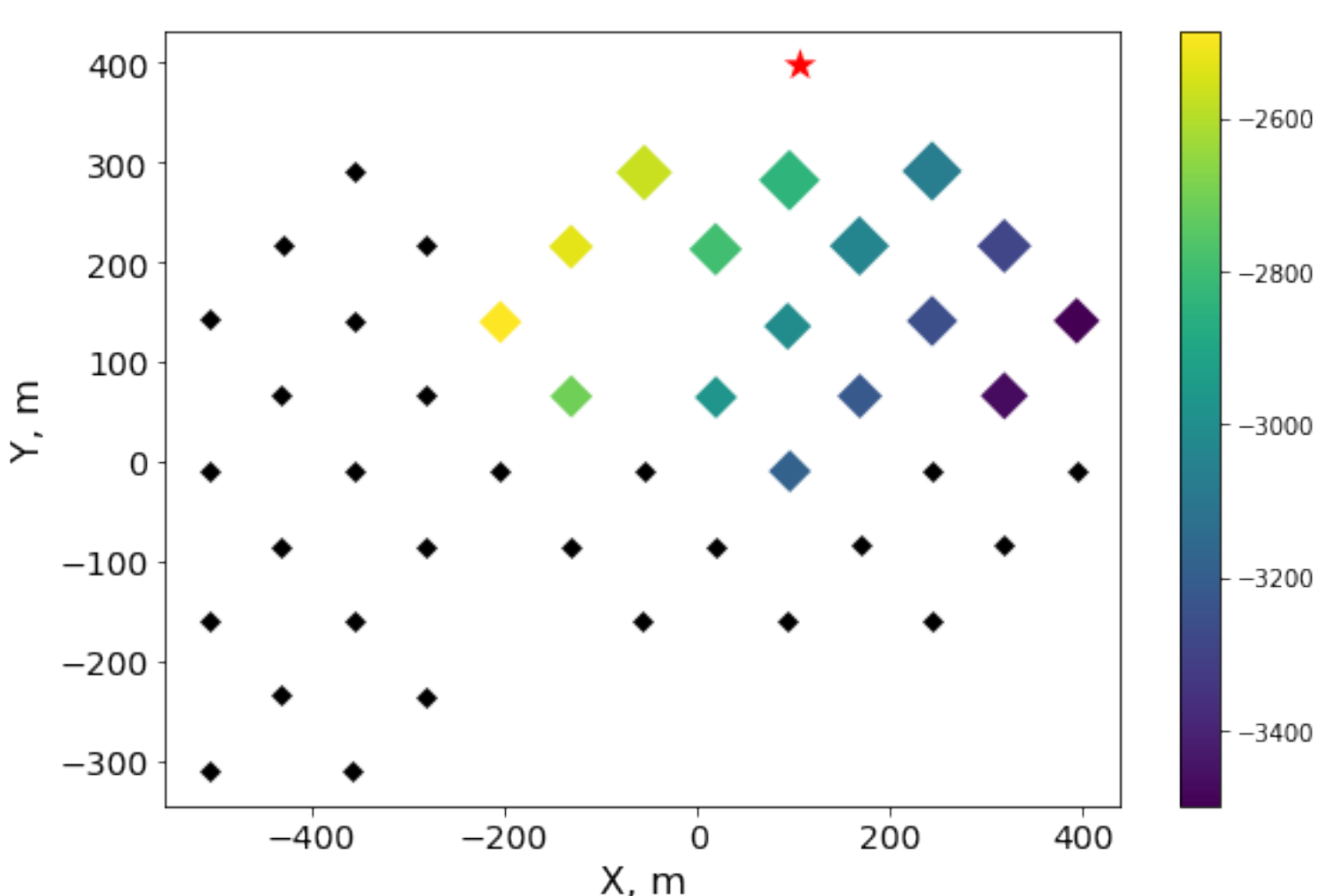
TAIGA-HiSCORE - это массив широкоугольных черенковских станций для исследования космических лучей и источников гамма-излучения, являющийся частью гибридной системы детекторов TAIGA. Установки массива HiSCORE регистрируют черенковские фотоны ШАЛ, а также время прихода сигнала. Распределения амплитуд сигнала и времен его регистрации позволяют определить характеристики широких атмосферных ливней, таких, как энергия первичной частицы и направление ее движения.



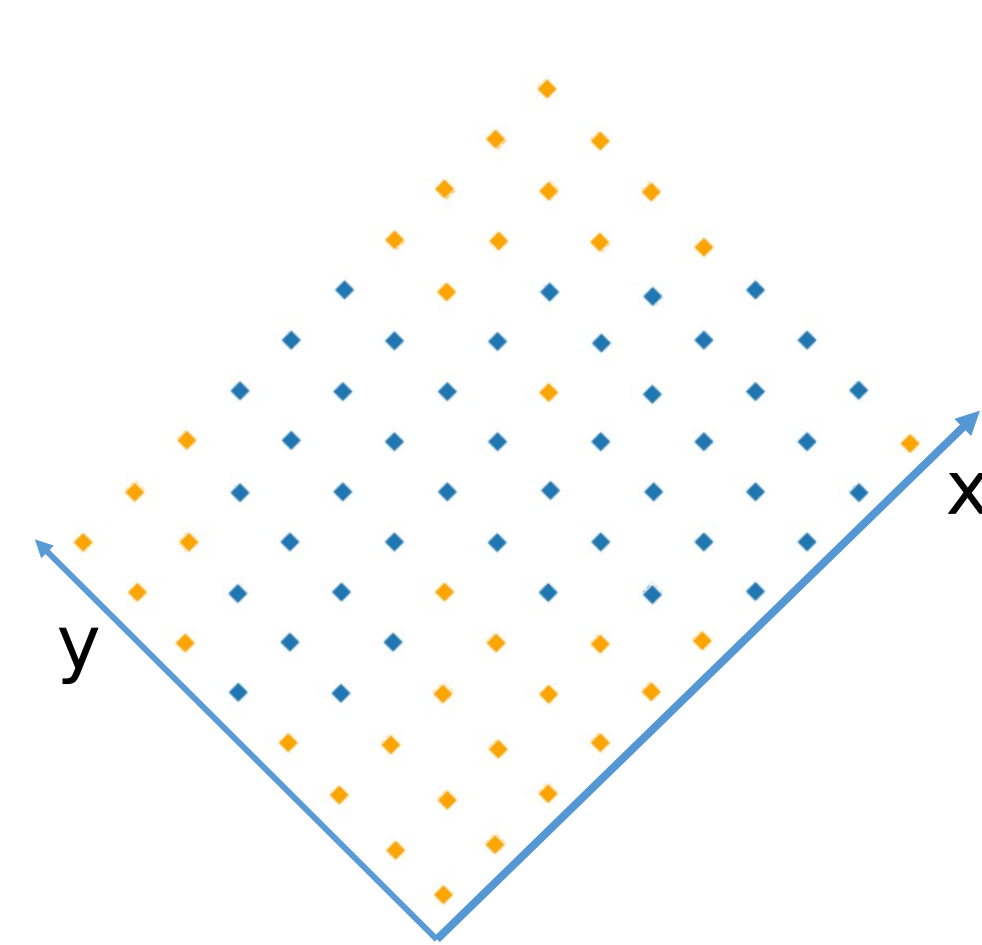
Черенковская станция из массива HiSCORE

Метод глубокого обучения для эксперимента TAIGA-HiSCORE

В предлагаемом методе массивы данных, полученных со станций HiSCORE, представляем в виде изображений. Изображение может состоять из данных о времени регистрации сигнала и амплитудах сигнала. Работая со временем регистрации сигнала, мы ищем изюминку по времени и используем ее для восстановления направления оси ливня. Для определения временной изюминки используется метод сверточных нейронных сетей.



Пример смоделированного события ШАЛ для массива установок HiSCORE. Цветом обозначены времена регистрации сигналов, размер точки указывает на амплитуду сигнала. Черным цветом обозначены точки, не зарегистрировавшие сигнал ШАЛ.

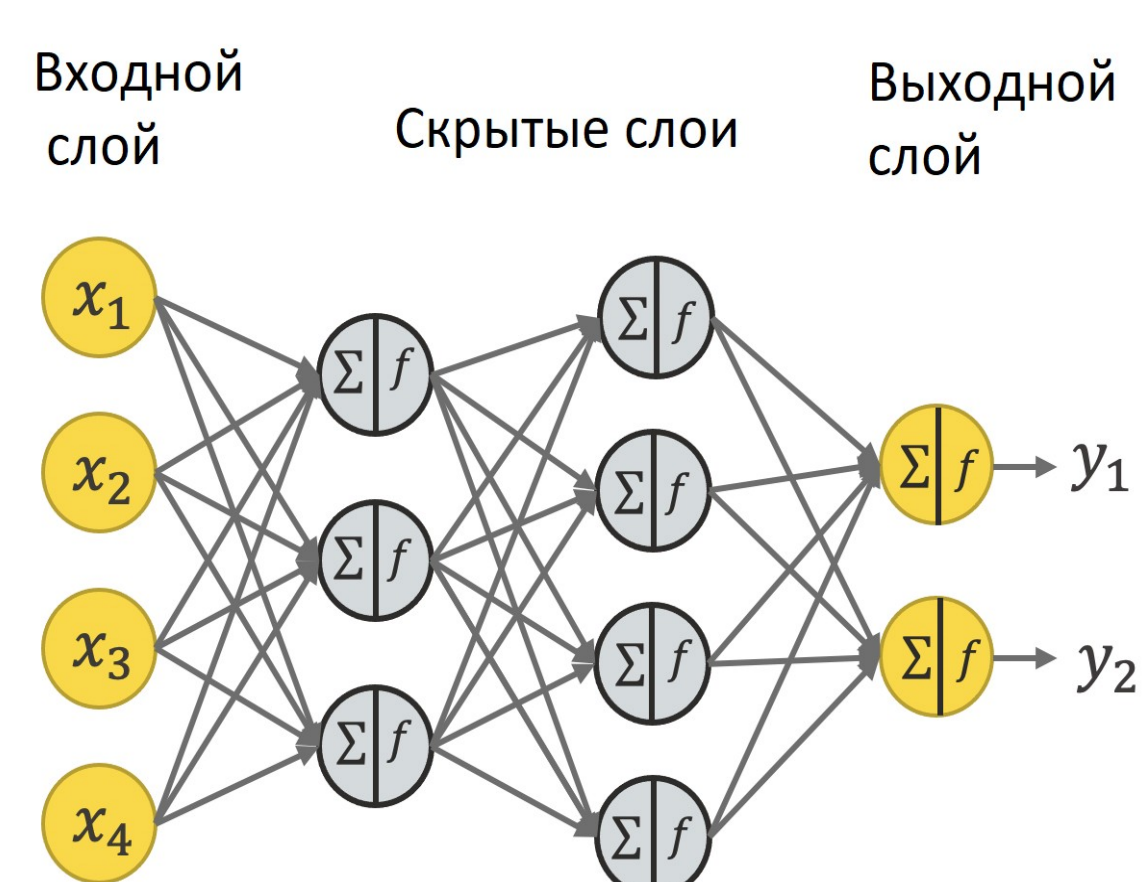


Массив координат станций приведен к прямоугольной форме путем добавления точек с нулевыми значениями и поворотом осей координат на 45°. Оранжевым цветом обозначены добавленные точки.

Для обучения сети и валидации использовались модельные наборы данных, полученных с помощью программы CORSIKA. Выборка состоит из 12216 событий, моделирование выполнено для 44 станций HiSCORE. Были отобраны только те события, в которых сработало минимум четыре станции.

Архитектура нейронной сети

Модель представляет собой сверточную нейронную сеть с последовательным соединением нейронных слоев, на вход которой подаются многомерные массивы формата (10,8,1), которые содержат информацию о временах регистрации сигнала ШАЛ. Для извлечения значимых признаков из двумерных массивов данных, первыми в нейронной сети идут сверточные слои - слои нейронной сети, в которых используется операция свертки.



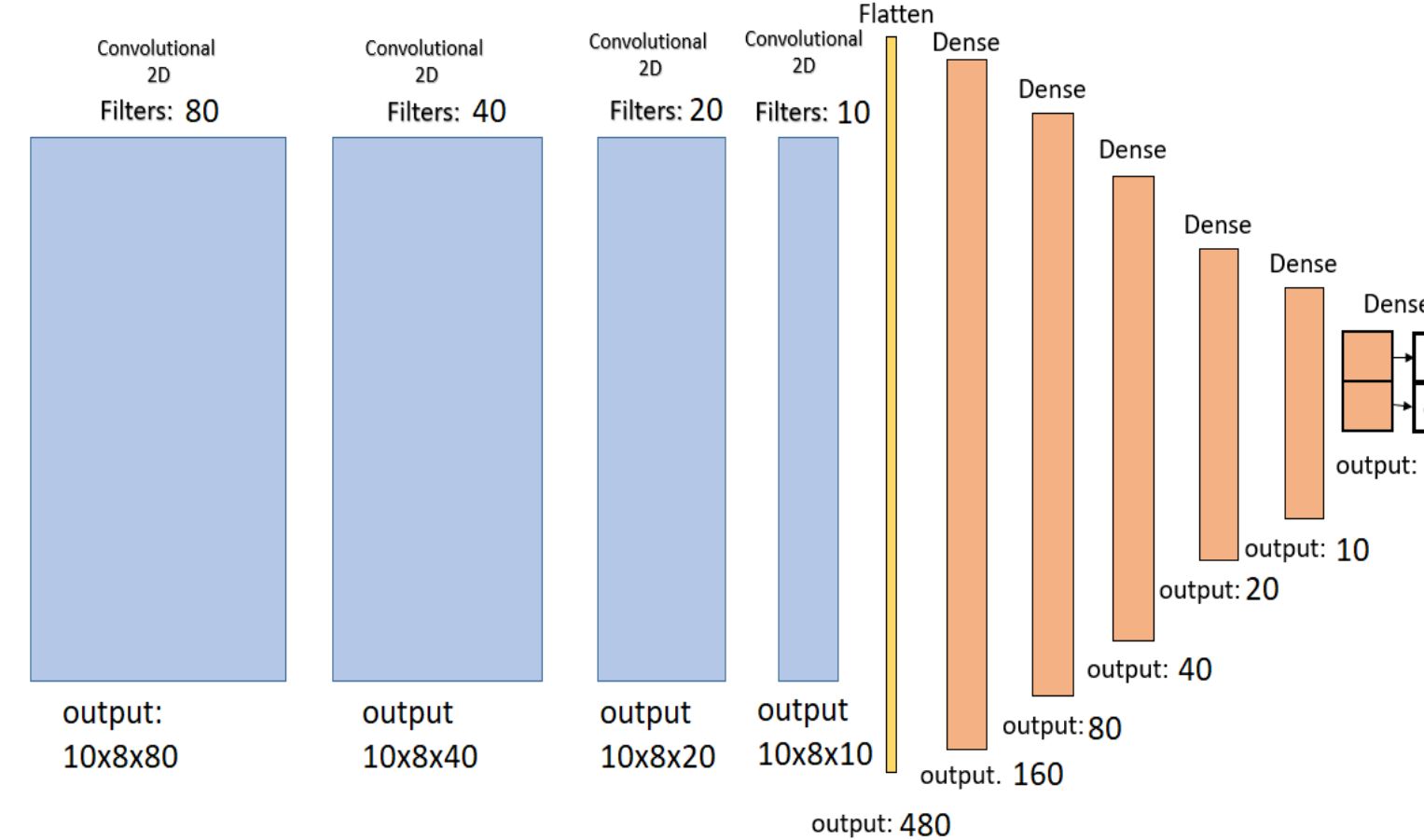
Графическое представление искусственной нейронной сети. Каждый из нейронов в скрытых слоях и в выходном слое получает на вход взвешенную сумму величин нейронов из предыдущего слоя. После этого в нейроне к полученной величине применяется активационная функция, которая определяет выходное значение нейрона.

В качестве функции потерь сети использовалась функция среднеквадратичной ошибки (MSE):

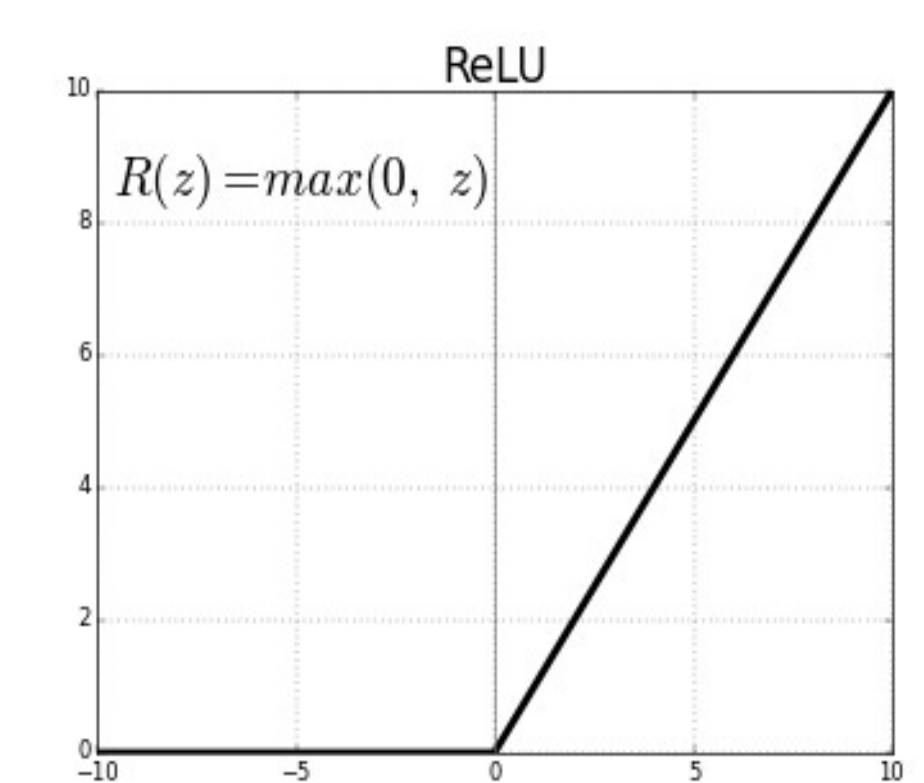
$$MSE = \frac{1}{n} \sum (y_{rec} - y_{MC})^2$$



Схематичное изображение операции свертки, которая используется в сверточных слоях нейронной сети. Сверточные слои используются для обработки данных с сеточной топологией. Линейные размеры ядра меньше размеров входного изображения, и за счет подобной разреженности, сверточная нейронная сеть требует меньший объем памяти, используя только значимые признаки.



Архитектура используемой сверточной нейронной сети.



Функция активации ReLU, используемая в нейронах предложенной модели.

Аналогичная модель сверточной нейронной сети используется для определения энергии первичной частицы ШАЛ. Для определения энергии ШАЛ используется информация об амплитудах сигналов, зарегистрированных станциями массива HiSCORE.

Результаты

Суммарная среднеквадратичная ошибка модели (результат работы нейронной сети): **MSE** = 2.85.

Средняя абсолютная ошибка для параметров:

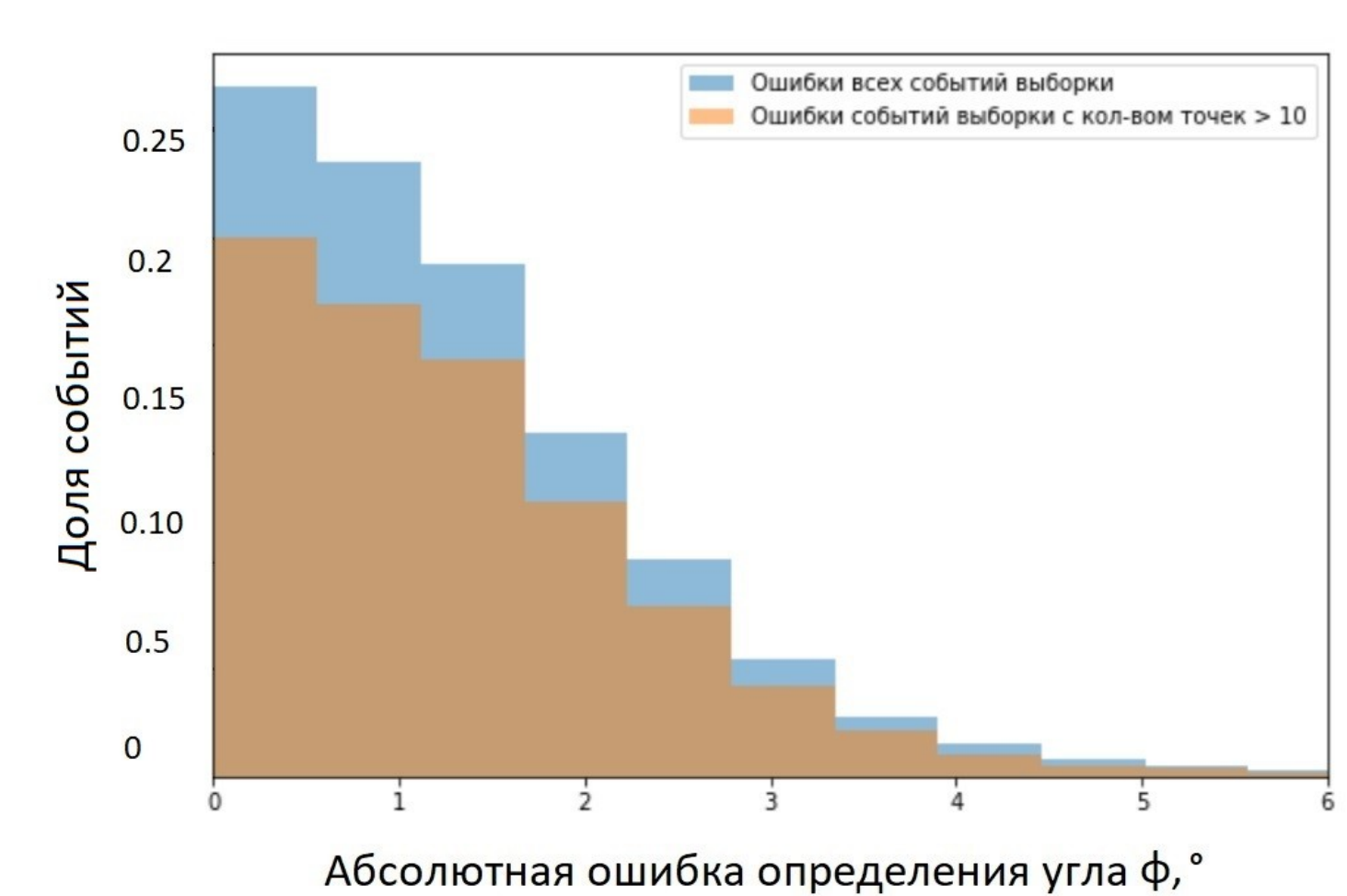
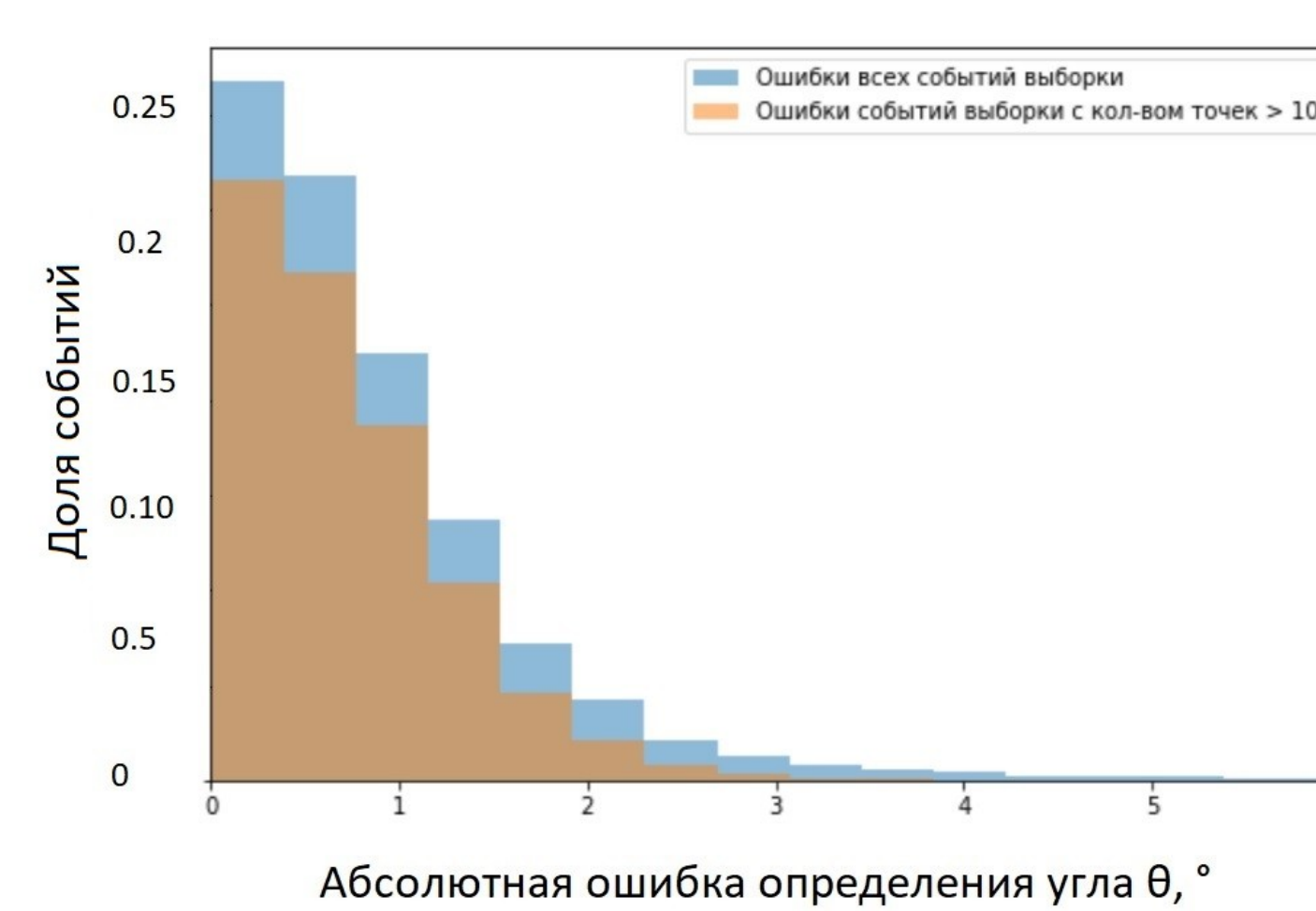
Средняя абсолютная ошибка θ : 0.97°

Средняя абсолютная ошибка ϕ : 1.38°

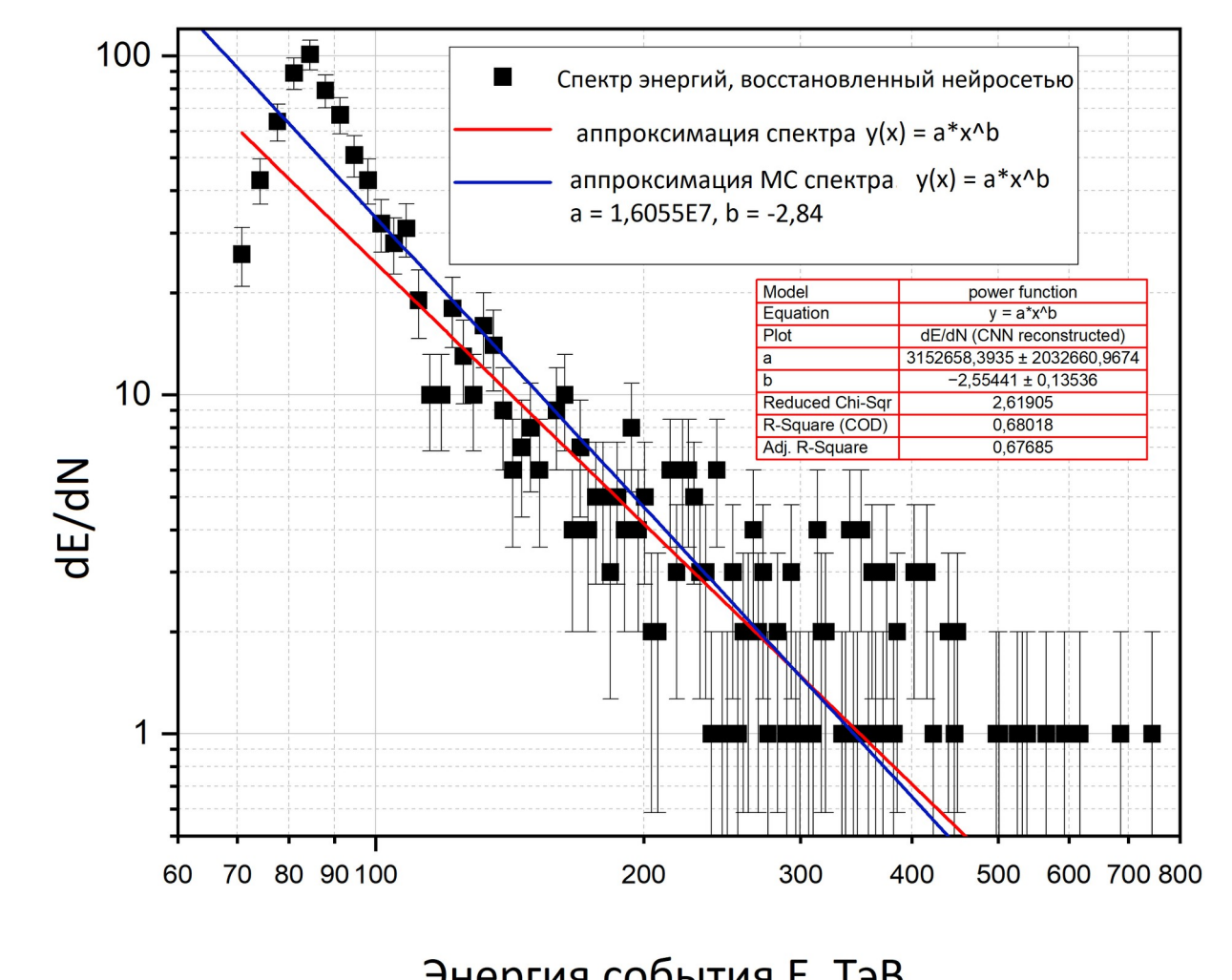
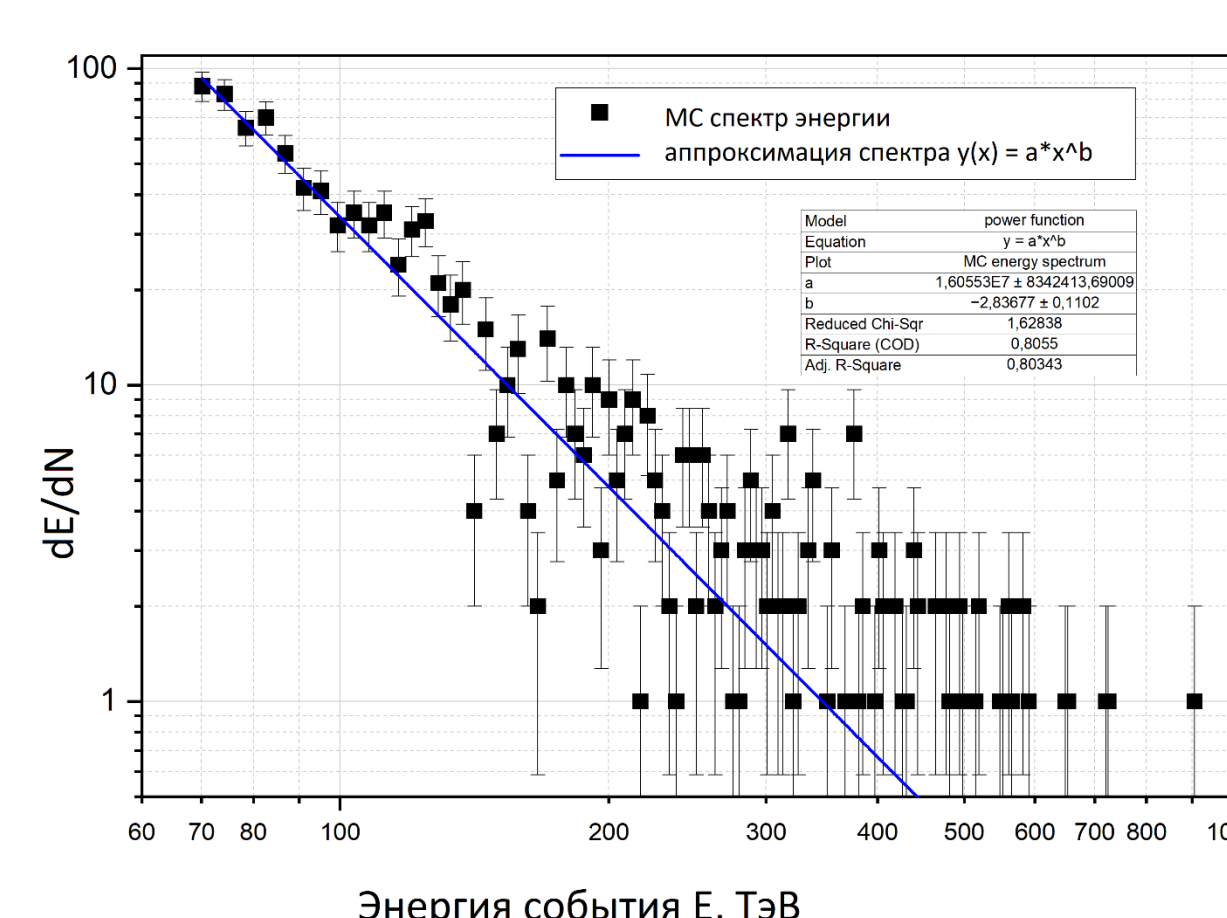
Ошибки для событий с разным количеством сработавших станций могут существенно различаться. В связи с этим, был проведен анализ событий с количеством сработавших станций больше десяти и меньше десяти.

Количество сработавших станций	$\Delta\theta$, °	$\Delta\phi$, °	Количество событий
≤10	1.34	1.68	2684
≥10	0.85	1.12	9532

На графиках ниже представлены распределения ошибок азимутального и зенитного углов в определении направления ШАЛ.



На двух следующих графиках представлены энергетический спектр событий Монте-Карло, использованных для обучения модели и оценки ее эффективности и энергетический спектр, восстановленный нейронной сетью.



Выводы

В данной работе были продемонстрированы возможности применения методов глубокого обучения для определения параметров широких атмосферных ливней. Предложена модель для определения величин азимутальных и зенитных углов оси ШАЛ, которая представляет собой сверточную нейронную сеть. Также предложен метод глубокого обучения для реконструкции энергетического спектра. Обученная сверточная нейронная сеть позволяет определять зенитные и азимутальные углы оси ШАЛ с точностью в среднем около 1 градуса.