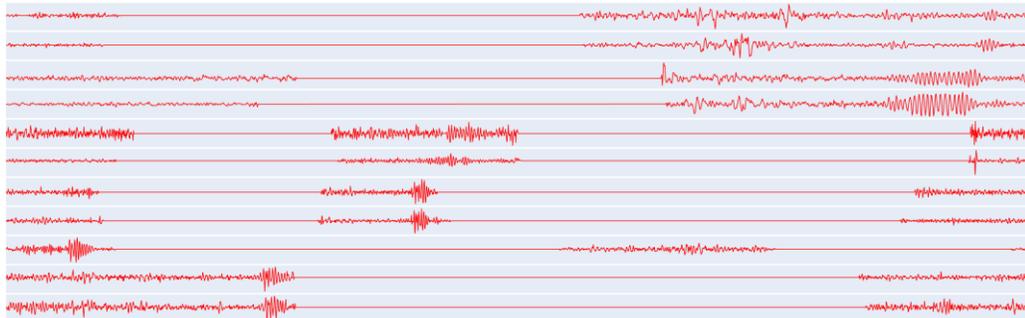


# Методы машинного обучения для поиска ковулканических ионосферных возмущений по данным ГНСС

Тен А.С.<sup>1</sup>, Сорокин А.А.<sup>1</sup>, Шестаков Н.В.<sup>2,3</sup>  
<sup>1</sup>ВЦ ДВО РАН, <sup>2</sup>ИПМ ДВО РАН, <sup>3</sup>ДВФУ

## Цель исследования

Рассмотреть применимость некоторых современных архитектур нейронных сетей для анализа инструментальных данных ГНСС-измерений с целью выявления и классификации ковулканических ионосферных возмущений (КИВ).



Примеры графиков рядов ПЭС



Большой объем инструментальной информации усложняет ее обработку специалистами. Одним из подходов к решению указанной проблемы является применение методов машинного обучения для автоматизированного обнаружения КИВ в рядах полного электронного содержания (ПЭС).

**Актуальность** исследования обусловлена отсутствием эффективных компьютерных решений для детектирования КИВ в рядах ПЭС, полученных по данным ГНСС-измерений.

## Экспериментальные данные

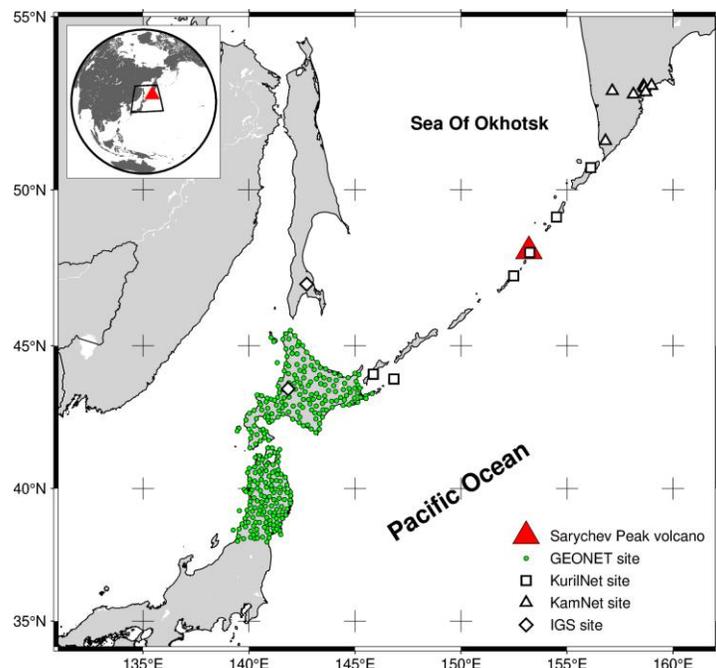
Временные ряды значений ПЭС, восстановленные из данных ГНСС-сетей за 14-16 июня 2009 г.

Рассматриваемое событие – извержения вулкана Пик Сарычева 14-16 июня 2009 г.

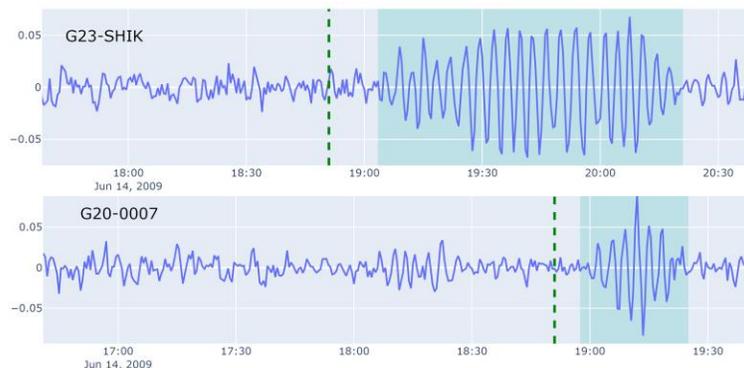
ГНСС-сеть	станций	файлов
GEONET	302	18 014
IGS	2	120
KurilNet	6	348
KamNet	8	476
Всего	318	18 958

- Исходные данные ПЭС размечены – выделены сегменты с КИВ.
- Сгенерированы датасеты для обучения и тестирования нейронных сетей.
- Проведено сравнение и выбор наиболее подходящей нейронной сети для последующего использования в алгоритме детекции.

Район расположения вулкана Пик Сарычева с информацией о местах установки ГНСС-станций



Примеры выделенных искомым КИВ



## Предложенный алгоритм

Алгоритм на основе скользящего окна и классификатора – обученной нейронной сети.

- Разработан алгоритма детекции ковулканических ионосферных возмущений (КИВ).
- Проведены эксперименты по поиску КИВ ассоциированных с извержением вулкана Пик Сарычева 14-16 июня 2009 г.

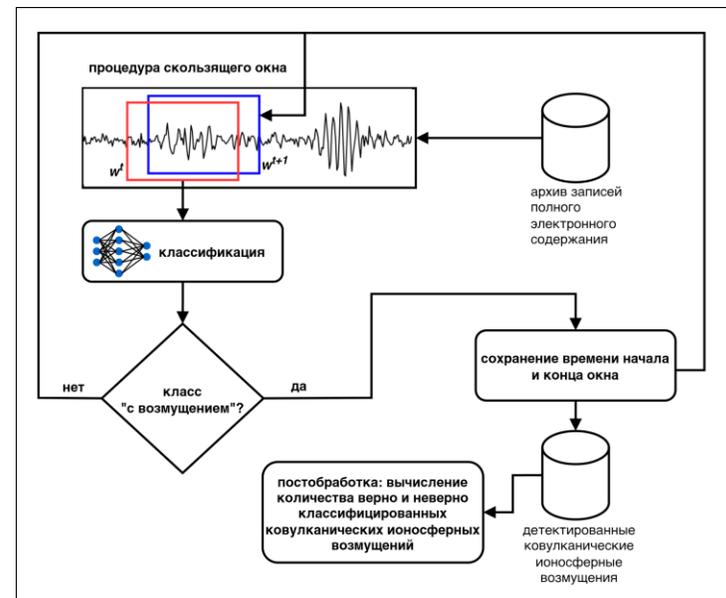


Схема алгоритма поиска КИВ

## Полученные метрики качества классификации нейронных сетей

Нейронная сеть (алгоритм)	# параметров (для окна 30)	Метрики		
		Accuracy	Precision (КИВ)	Recall (КИВ)
MLP	37 250	0,88	0,90	0,86
FCN	23 740	0,93	0,94	<u>0,93</u>
<u>ResNet</u>	38 522	<u>0,94</u>	<u>0,96</u>	<u>0,93</u>
<u>InceptionTime</u>	38 942	<u>0,95</u>	<u>0,95</u>	<u>0,94</u>
TSTransformer	103 618	0,86	0,85	0,86
Random Forest*	–	0,87	0,88	0,86
HIVE-COTE*	–	0,93	0,91	0,97

\* Метрики данных методов представлены для сравнения

## Результаты экспериментов

Проведены тесты алгоритма детекции КИВ с классификатором – нейронной сетью архитектуры InceptionTime с размером окна 30. Сканировалась 1000 файлов архива за 15 июня 2009 года, (нейросеть обучена на данных за предыдущие сутки):

- обнаружено 45 КИВ из 51;
- количество ложных срабатываний составляет 1169 (на общее количество в 11089 образцов извлеченных из сканируемых файлов).

## Заключение

- Лучшая по метрикам архитектура – InceptionTime.
- При достижении достаточной обобщающей способности и высокого качества классификации нейронные сети пригодны для поиска ковулканических возмущений в рядах ПЭС, как в апостериорном режиме, так и в режиме реального времени.