

**0.1. Тен А.С., Сорожин А.А., Шестаков Н.В.
Применение методов машинного обуче-
ния для поиска ковулканических ионо-
сферных возмущений по данным ПЭС**

Использование данных полного электронного содержания (ПЭС), полученных на основе наблюдений глобальных навигационных спутниковых сетей (ГНСС-сетей) для исследования таких опасных природных явлений как землетрясения, цунами, геомагнитные бури, активно рассматривается все большим количеством исследователей. В последние годы начинают появляться работы, связанные с использованием данных ГНСС-сетей в исследованиях ответной реакции ионосферы на извержения вулканов. В них реконструируются значения ПЭС, представленные в виде временного ряда, которые затем исследуются на наличие ковулканических ионосферных возмущений. Большой объем инструментальной информации усложняет ее обработку. Одним из подходов к решению указанной проблемы является применение методов машинного обучения — искусственных нейронных сетей. На сегодняшний день не существует готовых эффективных автоматизированных систем для обнаружения ионосферных ковулканических возмущений, ассоциированных с извержениями вулканов, по данным ПЭС.

Для решения указанной задачи авторами рассматривается работа алгоритма на основе процедуры скользящего окна и классификатора. В качестве классификатора применяется нейронная сеть, обученная классифицировать входящие сегменты временного ряда, содержащие или не содержащие искомые ковулканические возмущения. В исследовании рассмотрена применимость некоторых популярных архитектур нейронных сетей на архивных инструментальных данных в задаче классификации ковулканических возмущений, проведен анализ точности классификации.

В качестве экспериментальных данных был использован архив за 15 и 16 июня 2009 г. с 18958 записями временных рядов ПЭС от 317 станций японской GEONET. Проведена разметка данных — выделены сегменты с ковулканическими возмущениями, затем с помощью процедуры скользящего окна сгенерировано пять наборов данных — с размерами образцов 5, 10, 20, 30 и 50 временных отметок двух классов: 1) нет возмущений (шум) и 2) есть возмущения. На полученных наборах данных обучены и протестированы нейронные сети нескольких популярных архитектур с целью поиска ковулканических возмущений, ассоциированных с извержением вулкана Пик Сарычева в 2009 г. [?]. Вычислены значения метрики точности (ассигасу) оценки классификации, понимаемой как доля правильных ответов классификатора для каждой нейронной сети: полносвязный многослойный персептрон (MLP) — 0.80, 0.82, 0.86, 0.88 и 0.90; полносвязная сверточная

сеть (FCN) — 0.78, 0.79, 0.89, 0.92 и 0.97; остаточная нейронная сеть (ResNet) — 0.82, 0.82, 0.91, 0.94 и 0.96; InceptionTime — 0.81, 0.84, 0.90, 0.94 и 0.97; TSTransformer — 0.81, 0.81, 0.83, 0.86 и 0.86. Для сравнения, значение метрики точности алгоритмов Random Forest и HIVE-COTE на выборке с образцами размером 30 составляют 0.88 и 0.92, соответственно. Точность классификации отличается в зависимости от размера окна — для датасета с окном большего размера точность классификации выше. Большой размер окна более пригоден для сканирования архивов ПЭС, однако для использования в алгоритмах реального времени требуется окно меньшего размера.

По результатам проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. В задаче классификации на экспериментальных данных рассмотренные архитектуры нейронных сетей, в целом, оказались применимы, но показали недостаточную точность и для дальнейшего использования в разрабатываемом универсальном алгоритме нуждаются в усовершенствовании. При достижении достаточной точности нейронные сети вполне пригодны для поиска ковулканических возмущений по данным ПЭС, в том числе в режиме реального времени для организации систем оперативного мониторинга вулканической активности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 22-27-00599).

Научный руководитель — к.т.н. Шестаков Н. В.

Список литературы

- [1] SHESTAKOV N. ORLYAKOVSKIY A. PEREVALOVA N. ET AL. Investigation of ionospheric response to June 2009 Sarychev Peak volcano eruption // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. N. 4. P. 638.