

**Выявление и прогнозирование внезапных начал геомагнитных бурь с помощью методов машинного обучения**

**Волошин Тарас Андреевич**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

*E-mail: tivoloshin38@gmail.com*

Соавторы: Дунаев М.Е., Зайцев К.С.

Сегодня все сферы человеческой деятельности подвергаются цифровой трансформации и внедрению технологии искусственного интеллекта. Одной актуальной и важной задачей в физике Земли является определение «внезапных начал» геомагнитных бурь. Решение этой задачи позволит прогнозировать бури, которые существенно влияют на связь и навигацию космических кораблей, возникновение вихревых индукционных токов и даже разрушение энергетических систем, что в свою очередь может вызвать гуманитарную катастрофу.

Внезапное начало магнитной бури (Storm Sudden Commencement, SSC/SC) отображает неожиданный и резкий прирост горизонтальной компоненты магнитного поля, зарегистрированной на наблюдательных пунктах. Окончательные реестры инцидентов SC формируются путем визуального анализа магнитограмм, полученных от пяти определенных низкоширотных наблюдательных станций.

Существует множество исследований, связанных с SC и их выявлением. Так, например, в одной из статей [1] предсказывают SC по положению точки L1 Земли. Либо же, используя данные магнитометра, строят системы [2] для обнаружения SC в реальном времени.

Задача состоит в выделении окна определенной длины из выборки, и определении для него метки (True или False) показывающей, находится ли в данном промежутке SC, или отсутствует. Для достижения поставленной цели в данной работе для автоматического выявления внезапных начал было рассмотрено применения нейросетевых алгоритмов, в частности – рекуррентных нейронных сетей. Такие нейронные сети специально предназначены для обработки упорядоченных данных. На вход модели подавалась последовательность значений временного ряда измерений магнитного поля. Помимо этого, были рассчитаны скалярные признаки для увеличения точности модели. По аналогии с [3] были взяты следующие величины:

- Изменение в уровне компонент индукции (change of level) – разность между средним значением ряда в следующие 10 минут от события и средним значением в предыдущие 10 минут
- Изменение в ритме (change of rhythm) – разность стандартных отклонений за следующие и предыдущие 60 минут от события

Для возможности использования одновременно векторных и скалярных признаков модель была построена следующим образом: вначале вектор из значений 10-минутного окна ряда подавался на вход рекуррентному слою, выходы из которого объединялись полно связным слоем сети, затем полученное значение конкатенировалось с двумя вышеописанными скалярными признаками, и полученный вектор из трех значений передавался на завершающий полно связный слой сети.

По результатам работы модели был построен график разностного ряда X-компоненты вектора индукции поля, который и являлся входным для модели, на котором нанесены вертикальные метки, обозначающие внезапное начало бури. Также были обозначены метки, предсказанные моделью, причем если модель относила некоторое 10-минутное окно к классу True (т.е. распознавала как SC), то соответствующая метка ставилась на время,

соответствующее началу этого окна. На рисунке 1 показаны увеличенные фрагменты этого графика с правильно распознанным началом (а) и с распознанным ложно (б). Также были рассчитаны следующие метрики классификации:

- accuracy = 0.999
- recall = 0.470
- precision = 0.488
- f1-score = 0.479

Таким образом, были выполнены начальные исследования и разработки для решения задачи обнаружения внезапных начал геомагнитных бурь. Были исследованы имеющиеся данные геомагнитных наблюдений из источников Intermagnet и исследовательских обсерваторий SC, и опробована нейросетевая модели. В дальнейшем будет модель будет совершенствоваться для получения результатов с более высокой точностью.

### Источники и литература

- 1) Segarra, A., & Curto, J.J. (2013). Automatic detection of sudden commencements using neural networks. *Earth, Planets and Space*, 65, 791-797.
- 2) Shinohara, M., Kikuchi, T., & Nozaki, K. (2005). Automatic realtime detection of sudden commencement of geomagnetic storms. *J. NICT 2005*, 52, 197–205.
- 3) Smith, A. W., Rae, I. J., Forsyth, C., Oliveira, D. M., Freeman, M. P., & Jackson, D. R. (2020). Probabilistic forecasts of storm sudden commencements from interplanetary shocks using machine learning. *Space Weather*, 18.

### Иллюстрации

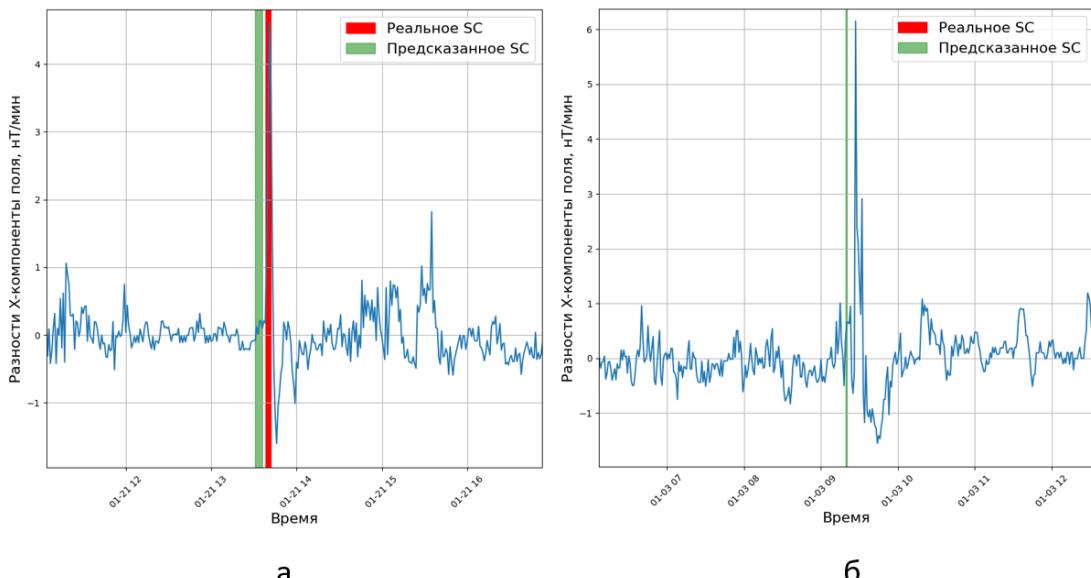


Рис. : 1. Увеличенные фрагменты графика результатов: а – правильно распознанное событие SC, б – ложно распознанное