

DOI: 10.51981/2588-0039.2023.46.008

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ СУББУРЬ ПРИ УЧЕТЕ УСЛОВИЙ ГЕНЕРАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗ

Н.А. Бархатов¹, В.Г. Воробьев², О.И. Ягодкина², Е.А. Ревунова³, А.Ю. Борисова¹

¹Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

²Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

³Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация

В работе представлены результаты нейросетевой классификации изолированных событий суббурь, обусловленных воздействием потоков плазмы солнечного ветра на магнитосферу Земли с учетом признаков, характеризующих особенности условий генерации различных фаз суббурь. Для этого выбраны следующие классификационные признаки: продолжительность фазы зарождения, длительность фазы развития, фазы восстановления и всей суббури, а также особенности поведения компоненты B_z межпланетного магнитного поля (ММП). Под последним признаком подразумевается поворот компоненты B_z ММП к югу, который определяет начало фазы зарождения суббури. Эти признаки приняты в качестве входных рядов для создаваемых самообучающихся классификационных нейросетевых моделей. В процессе работы нейросети сформированы наборы графических образов указанных классификационных признаков. В результате каждый образ содержит информацию о продолжительности фаз рассматриваемых суббурь. Выполненные классификационные нейросетевые эксперименты над рассматриваемыми суббурями позволяют разделить суббури на пять классов. Физические особенности выделенных классов заключаются в причинно-следственных связях продолжительности суббуревых фаз с параметрами солнечного ветра и особенностями ММП.

Введение

Важной проблемой современной гелиогеофизики является моделирование и прогнозирование глобальной и суббуревой активности на основе параметров околоземного космического пространства. Известно, что основной причиной интенсивных геомагнитных бурь является сильная и продолжительная (более 3 часов) отрицательная компонента межпланетного магнитного поля [1]. Она может содержаться в одной из многочисленных структур солнечного ветра или возникнуть в результате взаимодействия между этими структурами. Однако некоторые структуры вызывают заметные глобальные возмущения независимо от наличия в них отрицательной компоненты межпланетного магнитного поля [1-3]. Отдельный интерес вызывают исследования характеристик изолированных суббурь. В ряде работ предлагаются варианты классификации изолированных событий суббурь при учете признаков, характеризующих особенности условий генерации различных фаз суббурь [3]. Такие исследования учитывают общепринятую модель суббуревых процессов, когда накопление потенциальной энергии в магнитосфере в период подготовительной фазы суббури связывается с усилением крупномасштабного западного электрического поля конвекции поперек хвоста магнитосферы. Эта потенциальная энергия в свою очередь обусловлена кинетической энергией солнечного ветра. Однако, процесс ее накопления вследствие поступления из солнечного ветра на подготовительном интервале суббури, невозможно учесть на основе только мгновенных значений (B_z , N , V). Его можно оценить вычислением интегральной величины $\Sigma[NV^2]$, характеризующей изменение количества энергии, поступающей за один час в магнитосферу из солнечного ветра в виде кинетической энергии [4]. Дальнейшее начало активной фазы суббури обычно связывают с взрывным переходом накопленной потенциальной энергии магнитного поля магнитосферы в кинетическую энергию частиц радиационных поясов, ионизирующих ионосферу.

В предлагаемой работе изучается возможность объединения всех параметров, характеризующих как причину, т.е. структуру солнечного ветра, так и следствие, т.е. геомагнитное возмущение, через косвенные признаки. Это делается для создания классификации изолированных суббурь учитывающей условия генерации и характеристики суббуревых фаз. Используемые признаки для классификации описывают продолжительность фазы зарождения, длительность фазы развития, фазы восстановления и всей суббури. Таким образом, объектом настоящего исследования являются изолированные суббуревые события различной

интенсивности и продолжительности, которые, как известно, находят свое отражение во временной динамике AL-индекса. Для этого исследуется динамика AL-индекса в интервалы времени, когда магнитосфера взаимодействует с активными потоками солнечной плазмы. Поскольку исследуемые конфигурации AL-индекса содержат в себе информацию об этих потоках и особенностях прохождения Земли через них, то возникает возможность классификации временной структуры AL-индекса при учете условий генерации и характеристик фаз суббури. Для этой цели применяется метод искусственных нейронных сетей (ИНС), позволяющий на основе нелинейной корреляционной обработки экспериментальных данных проводить интеллектуальное разделение входных образов на классы.

Используемые данные и технология классификации

Создаваемая в работе ИНС строится по классическому принципу самообучения. Для решения поставленной задачи классификации была спроектирована и использована самообучающаяся ИНС. Архитектура этой сети построена по принципу слоя Кохонена.

Цель работы нейросети заключается в классификация графических образов набора классификационных признаков. Каждый такой образ содержит информацию о соотношении продолжительностей фаз рассматриваемых суббурь. Используемые признаки для классификации описывают продолжительность фазы зарождения, длительность фазы развития, фазы восстановления и всей суббури. Результатом нейросетевых экспериментов является определение числа классов, которое лучше всего соответствует информации, содержащейся в используемых данных. Для использования данных в ИНС, классификационные параметры в пределах каждой анализируемой комбинации нормируются. Это позволяет представить весь массив данных на одной шкале, сохранив информацию об интенсивности событий. Мы предлагаем демонстрацию массивов данных с помощью графики в виде многоугольников [1].

Критерии отбора рассматриваемых изолированных суббурь были следующие [5]:

- 1) временной интервал от предыдущего возмущения не менее 3-х часов;
- 2) интенсивность магнитной бухты в максимуме $250\text{нТл} < \text{Max}|AL| < 1300\text{нТл}$;
- 3) длительность суббури < 3 ч;
- 4) окончание суббури: время UT, после которого величина возмущения $|AL| < 0.2\text{Max}|AL|$.

Отбор суббурь по критериям 1–3 проводился визуальным просмотром суточных вариаций AL индекса. Дополнительным признаком появления суббури являлось наличие соответствующих вариаций в индексах магнитной активности SYM/H(D) или ASYM/H(D). Согласно критериям отобрано 106 изолированных суббуревых событий различной интенсивности в период с 1994 по 2012 гг. по данным каталога NASA (<http://cdaw.gsfc.nasa.gov>). Оценка суббуревой активности выполнена по минутным данным индекса AL. Как отмечалось выше, используемые признаки для нейросетевой классификации: продолжительность фазы зарождения, длительность фазы развития, фазы восстановления и всей суббури. Начало фазы зарождения суббурь определялось поворотом компоненты Vz к югу. Перечисленные классификационные признаки характеризуют особенности условий генерации различных фаз изучаемых суббурь. Они приняты в качестве входных рядов для создаваемых самообучающихся нейросетевых моделей.

Нейросетевые результаты численных классификационных экспериментов

Признаки для классификации описывают продолжительность фазы зарождения, длительность фазы развития, фазы восстановления и всей суббури. Таким образом, результатом работы классификационной нейросети было формирование графических образов набора классификационных признаков. Каждый такой образ содержит информацию о продолжительности фаз рассматриваемых суббурь. В результате нейросетевых экспериментов суббури были классифицированы на пять классов. Визуальный осмотр результатов классифицирования в виде групп многоугольников (см. рис. 1-5) согласуется с выводами, предлагаемыми ИНС. Анализ полученных классов позволяет сформулировать особенности полученных классов.

Класс 1 – собрал суббури с продолжительным развитием и восстановлением и с укороченной фазой зарождения (рис. 1);

Класс 2 – собрал суббури с продолжительной фазой зарождения (рис. 2);

Класс 3 – собрал суббури с равновеликими фазами (рис. 3);

Класс 4 – собрал суббури с относительно продолжительной фазой развития (рис. 4);

Класс 5 – собрал суббури с относительно короткой фазой восстановления (рис. 5).

Классификация изолированных суббурь при учете условий генерации и характеристик фаз

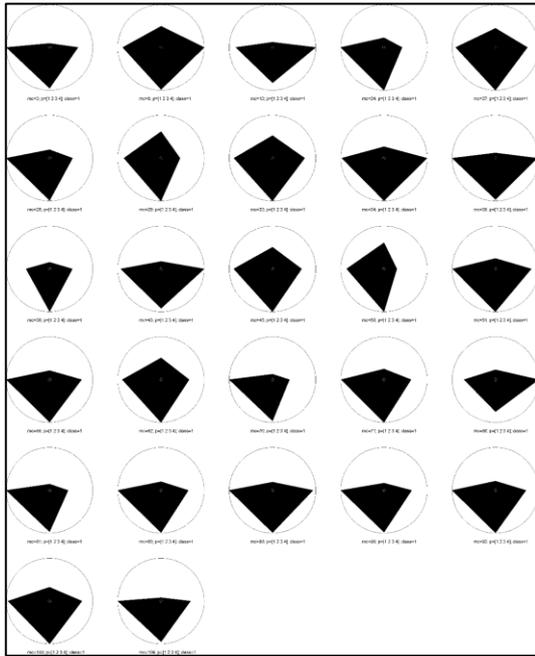


Рисунок 1. Класс №1.

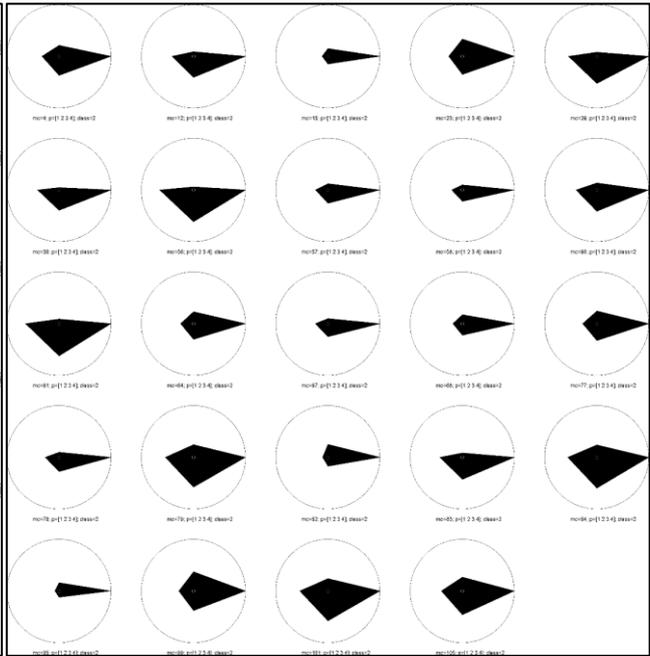


Рисунок 2. Класс №2.

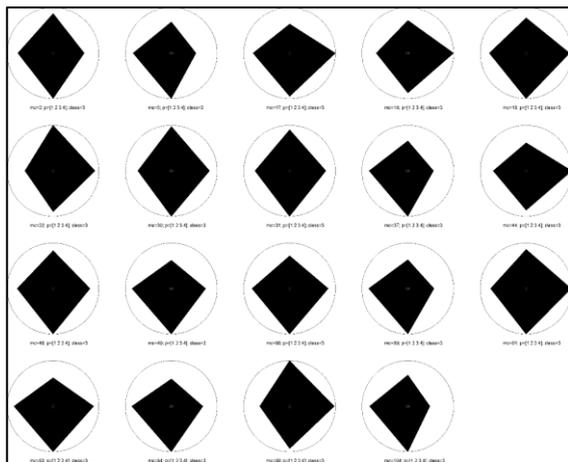


Рисунок 3. Класс №3.

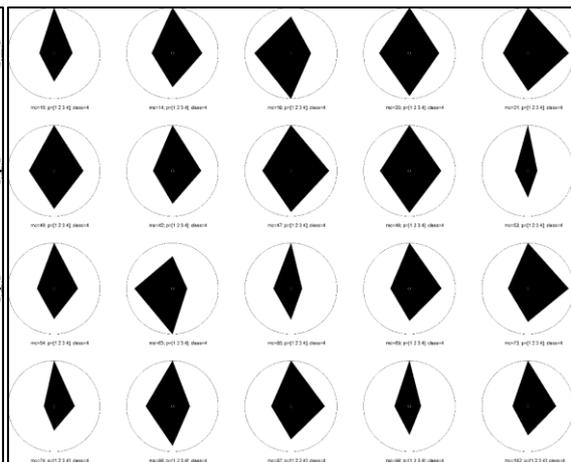


Рисунок 4. Класс №4.

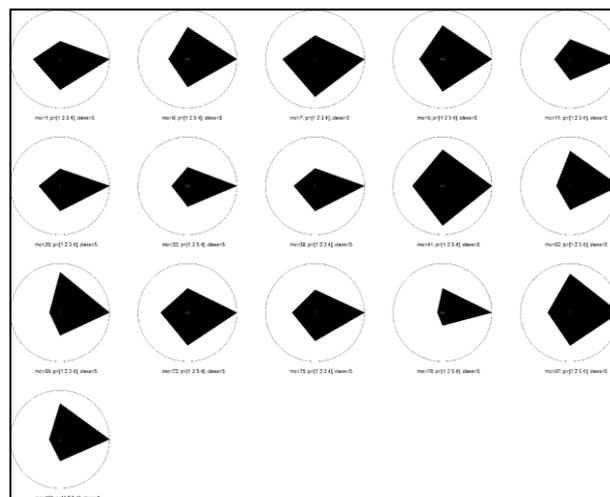


Рисунок 5. Класс №5.

Обсуждение результатов

Анализ полученных классов позволил сформулировать особенности полученных пяти классов и сделать физические выводы. Они следующие: класс 1 предполагает продолжительное развитие и восстановление суббури с укороченной фазой зарождения; класс 2 свидетельствует о продолжительной фазе зарождения; класс 3 – демонстрирует равновеликие суббуревые фазы; класс 4 связан с относительно продолжительной фазой развития; класс 5 содержит суббури с относительно короткой фазой восстановления. Физические особенности обнаруженной классификации обуславливаются причинно-следственными связями продолжительности суббуревых фаз с параметрами солнечного ветра и ММП, на что, прежде всего указывает важный классификационный признак в виде поворота компоненты B_z ММП к югу. Он, как известно, определяет начало фазы зарождения суббури.

Список литературы

1. Barkhatov N.A., Vorobjev V.G., Revunov S.E., Barkhatova O.M., Revunova E.A., Yagodkina O.I. Neural network classification of substorm geomagnetic activity caused by solar wind magnetic clouds // *Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics*, 205, 105301, 2020.
2. Vorobjev V.G., Antonova E.E., Yagodkina O.I. How the intensity of isolated substorms is controlled by the solar wind parameters // *Earth, Planets and Space*, 70:148, doi.org/10.1186/s40623-018-0922-5, 2018.
3. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е. Нейросетевая классификация разрывов параметров космической плазмы. Научное издание: Солнечно-земная физика, выпуск 14(127), с. 42–51, 2010.
4. Бархатов Н.А., Воробьев В.Г., Ревунов С.Е., Ягодкина О.И. Проявление динамики параметров солнечного ветра на формирование суббуревой активности // *Геомагнетизм и аэрономия*, том 57, № 3, с. 273–279, 2017.
5. Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е., Зверев В.Л. Влияние параметров плазмы солнечного ветра на интенсивность изолированных магнитосферных суббурь // *Геомагнетизм и аэрономия*, том 58, № 3, с. 311-323, 2018.