

Демонстрация отражения динамики параметров солнечного ветра в процессе формирования суббулевой активности с помощью интеллектуального инструмента

Бархатов Н.А.¹, Воробьев В.Г.², Ревунов С.Е.¹, Ягодкина О.И.², Виноградов А.Б.¹

¹Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина

²Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Началом активной фазы суббури является взрывной переход накопленной потенциальной энергии искаженного магнитного поля полярной магнитосферы в кинетическую энергию заряженных частиц заполняющих радиационные пояса и ионизирующих ионосферу. Процесс накопления потенциальной энергии возможен только при условии непрерывного поступления кинетической энергии частиц ($N \cdot V^2$) солнечного ветра на интервале подготовительной фазы суббури (плотности N – концентрация частиц, V – скорость потока солнечного ветра). Ключевым событием начала подготовительной фазы суббури, как правило, является поворот ММП к югу.

Накопление энергии в магнитосфере в период подготовительной фазы суббури обеспечивается усилением крупномасштабного западного электрического поля конвекции поперек хвоста магнитосферы. Постепенное накопление энергии невозможно учесть на основе мгновенных значений (B_z , N , V). Для описания этого процесса необходимо ввести интегральный параметр, например, в виде кумулятивной суммы $\sum[N \cdot V^2]$. Использование его динамики наравне с другими геоэффективными параметрами солнечного ветра применено нами для описания процесса формирования суббури с помощью интеллектуального инструмента в виде искусственной нейронной сети (ИНС).

Эффективность предлагаемого подхода продемонстрирована на численных нейросетевых экспериментах по восстановлению динамики AL-индекса по параметрам солнечного ветра и ММП в периоды развития суббурь. Архитектура применяемой нейросети построена по принципу Элмана и содержит дополнительный слой нейронов, обеспечивающий «внутреннюю память» о предыстории восстанавливаемого динамического процесса. На данном этапе исследования в качестве входных последовательностей нейросетевой модели, использованы два параметра – компонента ММП B_z и интегральный параметр $\sum[N \cdot V^2]$, учитывающий предысторию процесса накачки кинетической энергии в магнитосферу в течение 2-3 часов в рамках 60 минутных окон. Единственный выходной нейрон генерировал последовательность значений AL-индекса. Обучающие последовательности включали в себя данные по 70 периодам развития суббурь. С целью минимизации эффекта «запоминания последнего обучающего образца» эти последовательности нормировались и подавались на входы ИНС в случайном порядке. Нейросетевые эксперименты выполнялись на 1-минутных данных AL, B_z , N , V , полученных с узла CDAWeb (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>). Исследования проведены на временных интервалах данных, каждый продолжительностью 8 часов, включающих в себя периоды 70 изолированных магнитосферных суббурь различной интенсивности, зарегистрированных по показаниям AL-индекса.

Выполненное исследование показало возможность успешного восстановления динамики AL-индекса или его краткосрочного прогнозирования при использовании онлайн данных патрульного космического аппарата. Созданный нами инструмент при учете физических явлений, приводящих к суббуре, оказался вполне интеллектуальным и дееспособным. И это произошло потому, что мы приняли во внимание процесс медленной загрузки авроральной магнитосферы кинетической энергией солнечного ветра. Дальнейшее улучшение результатов восстановления возможно при использовании предыстории AL, увеличении числа входных данных, предварительной обработки и усовершенствовании архитектуры ИНС.