

ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОЙ КВАНТОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Давыденков И.И., Ожередов В.А.
ИКИ РАН

davydenkov.ii@phystech.edu, ozheredov2016@gmail.com

Настоящая работа посвящена проблеме краткосрочного прогнозирования времени задержки прихода солнечных энергичных частиц (SEP) к орбите Земли относительно момента начала родительской вспышки в мягком рентгеновском диапазоне. Для моделирования временной динамики эруптивного процесса и гелиосферного транспорта применена архитектура рекуррентной квантовой нейронной сети (RQNN). Модель ориентирована на извлечение нелинейных взаимосвязей между параметрами области первичного ускорения и условиями распространения частиц в межпланетной среде.

Пространство предикторов сформировано на базе комплекса физически интерпретируемых гелиофизических параметров: индекс магнитной связности вдоль спирали Паркера, характеристик SXR-профиля вспышки (по данным GOES/XRS), кинематических и морфологических свойств корональных выбросов массы (КВМ: линейная скорость и угловая ширина), параметров солнечного ветра в точке L1, а также спутниковых измерений возрастных потоков электронов и ионов (данные ACE/EPAM).

Валидация алгоритма на хронологически обособленной тестовой выборке эруптивных событий 24-го и фазы роста 25-го циклов солнечной активности продемонстрировала высокую прогностическую способность RQNN. Доля событий из тестовой выборки, предсказанных с точностью до 120 мин, составила 66.7%. По ключевым метрикам предложенная квантовая модель превосходит классические алгоритмы.

Анализ значимости физических параметров показал, что доминирующий вклад в формирование времени задержки вносят длительность эруптивной фазы вспышки в SXR-излучении, топология магнитного соединения Солнце-Земля, а также скорость движения и расширения КВМ.