

Разработка индекса для детектирования солнечных вспышек на основе данных ГНСС, рассчитываемых в системе SIMuRG

Научный руководитель – Веснин Артем Михайлович

Багулов Никита Николаевич

Студент (бакалавр)

Иркутский государственный университет, Факультет сервиса и рекламы, Иркутск,
Россия

E-mail: nikita.bagulov.arshan@gmail.com

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания эффективных методов мониторинга и прогнозирования солнечной активности, которая оказывает значительное влияние на работу космических и наземных систем, а также на безопасность космических полетов. Одним из ключевых явлений солнечной активности являются солнечные вспышки, которые могут вызывать возмущения в ионосфере Земли, фиксируемые с помощью данных ГНСС. Разработка новых методов детектирования солнечных вспышек на основе этих данных имеет важное значение для повышения точности прогнозирования космической погоды. Системы сбора и обработки данных SIMuRG является агрегатором данных ГНСС из открытых источников. На основе полного электронного содержания (ПЭС, англ. - TEC), полученного на основе фазовых измерений ГНСС в системе рассчитывается ряд так называемых продуктов данных, которые отражают ионосферную динамику на разных масштабах. В порядке возрастания масштабов неоднородностей в ионосфере в системе представлены следующие продукты: ROTI (Rate of TEC Index), вариации ПЭС с периодами 2–10 мин, 10–20 мин, 20–60 мин. ROTI характеризует мелкие неоднородности, вариации ПЭС часто связывают с атмосферными волнами соответствующего масштаба. При этом особенности в поведении данных могут быть связаны не только с пространственной структура, а с временной динамикой управляющих процессов, что и было использовано в данной работе.

В работе предложена методика разработки индекса для детекции солнечных вспышек на основе данных ГНСС. Для этого использовались продукты данных, перечисленные выше. Использование нескольких продуктов данных обусловлено тем, что солнечные вспышки могут развиваться с разной скоростью и важным параметром для ионосферного отклика является не только максимальное значение излучения, но и скорость его возрастания до максимума, т.е. производная по времени. При этом чем больше производная, тем данные, чувствительные к неоднородностям более малого масштаба, должны показывать соответствующий отклик. При изучении отдельных событий была показана различная степень реакции продуктов данных, на разные диапазоны излучения [2]. Существующие подходы используют ROTI для поиска отклика на вспышки [3]. В данной работе мы увеличиваем чувствительность индекса на основе ROTI, вводя веса пропорциональные расстоянию от подсолнечной точки для дневных (на освещенной половине Земли) значений, таким образом данные, которые более чувствительны к изменениям в излучении, вносят больший вклад в индекс. Для нормировки индекса, чтобы значения были около 1 в спокойных условиях, индекс рассчитывается как отношение суммы дневных к сумме ночных значений указанных параметров. Веса для значений на ночной стороне принимают одинаковые значения, так как вклад точек не зависит от расстояния от подсолнечной точки.

При использовании вариаций ПЭС для расчета индекса, алгоритм отличается от случая, когда используется ROTI. Так как ROTI положительно определенная величина, отношение суммы дневных значений к сумме ночных не имеет математических особенностей. При использовании вариаций ПЭС сумма может быть около нуля, так как значения

принимают как положительные, так и отрицательные значения. Эта особенность может привести к делению на 0, при использовании отношения суммы дневных к сумме ночных значений. Поэтому для расчета индекса по данным вариаций использовался только сумма дневных точек. Таким образом в отсутствии синхронного возмущения на больших станциях, возмущения на разных станциях не в фазе и сумма будет около нуля. При появлении синхронного изменения на большом количестве станций, сумма перестает быть нулевой, и мы видим значения существенно отличные от нуля.

Проведенный анализ показал, что предложенный индекс способен выявлять солнечные вспышки, однако в некоторых случаях наблюдается неспособность индекса показать наличие вспышки. Это может быть связано с влиянием других факторов, таких как фоновые ионосферные флуктуации, которые могут сильнее отклика на слабые вспышки. Определение предела чувствительности данных к вспышкам в зависимости от мощности может быть важным параметром, при оценке точности координатных определений по ГНСС. Требуется дальнейшая оптимизация алгоритма для повышения чувствительности и точности индекса. Также одним из направлений для дальнейшей работы будет разработка методов для уменьшения числа станций необходимых для детектирования отклика на вспышку. В настоящей работе использовались данные глобальной сети станций с более чем 5000 приемников. Уменьшение необходимого числа данных позволит использовать разработанные алгоритмы для региональных сетей.

В результате проведенного исследования был разработан индекс, основанный на данных ГНСС, который позволяет детектировать солнечные вспышки. Однако для практического применения необходимо улучшить его стабильность и точность. Предложенный подход представляет собой перспективное направление для дальнейших исследований в области мониторинга космической погоды.

Источники и литература

- 1) 1. Yasyukevich YV, Kiselev AV, Zhivetiev IV, Edemskiy IK, Syrovatskii SV, Maletckii BM, Vesnin AM. SIMuRG: System for ionosphere monitoring and research from GNSS. GPS solutions. 2020 Jul;24:pp.1-12.
- 2) 2. Sergeeva, M.A., Maltseva, O.A., Vesnin, A.M., Blagoveshchensky, D.V., Gatica-Acevedo, V.J., Gonzalez-Esparza, J.A., Chernov, A.G., Orrala-Legorreta, I.D., Melgarejo-Morales, A., Gonzalez, L.X. and Rodriguez-Martinez, M., 2023. Solar Flare Effects Observed over Mexico during 30–31 March 2022. Remote Sensing, 15(2), p.397.
- 3) 3. Syrovatskiy SV, Yasyukevich YV, Edemskiy IK, Vesnin AM, Voeykov SV, Zhivetiev IV. Can we detect X/M/C-class solar flares from global navigation satellite system data?. Results in Physics. 2019 Mar 1;12:1004-5.