

DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.035

ОЦЕНКА ГРАНИЦ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ GPS/ГЛОНАСС

С.А. Серебренникова

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия; e-mail: sova@mail.iszf.irk.ru

Аннотация. Оценка положения границы аврорального овала является актуальной и при этом достаточно сложной задачей. В последние годы Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) предоставляют обширный материал для изучения ионосферы Земли, а именно для наблюдения ионосферы и ионосферных неоднородностей в глобальном и региональном масштабе. Следовательно, карты вариации ПЭС указывают на постоянное присутствие ионосферных неоднородностей в области аврорального овала, а динамика области ионосферных неоднородностей соответствует динамике аврорального овала [1]. Таким образом, в работе был предложен новый подход для решения задачи прогноза положения аврорального овала, основанный на модели машинного обучения Random Forest, использующие данные GPS/ГЛОНАСС. В качестве опорных данных для машинного обучения использовались данные модели Ovation Prime. Разработанная модель Random Forest позволяет получать прогноз авроральной активности в виде карт потока энергии авроральных высыпаний. Оценка границ возмущений в авроральной зоне, в высокоширотной области была получена с помощью собственных, разработанных алгоритмов машинного зрения.

Введение. Изучение влияния Солнца на внешние слои ионосферы является актуальной задачей для современной науки. Одним из ключевых, видимых невооруженному взгляду процессов, происходящих в высоких слоях Ионосферы является область авроральных высыпаний частиц Солнечного ветра, где они сталкиваясь с нейтральными частицами атмосферы ионизируют область, называемую «Авроральным овалом». Свечение (мощность) «аврорального овала» тем сильнее, чем выше уровень геомагнитной активности, что описывается геомагнитными индексами (Kp, Dst и т.п.).

Так качественное моделирование процессов, происходящих в авроральной области, влияющих на мощность и увеличение границы «Аврорального овала» может помочь приоткрыть завесу тайны природы ионосферных возмущений. На данный момент существует несколько моделей, позволяющих получать прогноз мощности и границы авроральных высыпаний, однако, они используют часовые данные геомагнитных параметров (измерения магнитного поля, Kp индекс, данные солнечного ветра и т.п.). ГНСС же в свою очередь, имея информацию о глобальном распределении возмущенности ПЭС потенциально может осуществлять мониторинг авроральной активности [2] в режиме реального времени.

Используемые данные и метод. В исследовании для того, чтобы определить положение и мощность авроральных высыпаний по данным ГНСС был использован метод решения регрессионной задачи с помощью модели машинного обучения Random Forest. Суть метода состояла в том, чтобы определить уравнение F – связывающее вариации ПЭС с мощностью и границей авроральных высыпаний, которое бы при входных параметрах X генерировало прогноз Y - двумерно - пространственное распределение потока энергии авроральных высыпаний. В качестве эталонного набора для обучения модели Random Forest на данных ГНСС, использовались данные потока энергии электронов диффузного типа сияния, полученные с помощью модели Ovation Prime. Так как модель Ovation Prime построена на данных солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, полученные космическим аппаратом DISCOVER, данные солнечного ветра $f_{10.7}$, изменения межпланетного магнитного поля и индекс геомагнитного возмущения Kp также учитывались для модели Random Forest в качестве входных данных обучения X . В качестве основных данных обучения использовались 2-10 минутные вариации ПЭС в авроральной области, полученные с помощью ГНСС, изображенных на рис.1.

Однако, для сопоставления ПЭС и потока энергии электронов модели Ovation Prime нужно было привести их к одной системе координат, что было осуществлено методом «скользящего окна». «Окно» было отцентрировано по значениям потока энергии электронов, как показано на рис.2, где входящие в рамки «окна» значения ПЭС брались, как среднее значение с соответствующим вычислением статистических характеристик, включаемых в набор обучения модели Random Forest.

Результаты анализа авроральной активности, полученной моделью машинного обучения Random Forest. Обучение модели машинного обучения Random Forest происходило на выборке данных (данных обучения), включающей полные 96 суток, в период с 2000 по 2019 год, с равномерным распределением по Кр-индексу: спокойные дни (1-3), возмущенные дни (4-6) и сильные магнитные бури (7-9). Для тестирования модели использовались независимые от обучающей выборки данные с теми же параметрами: средним ПЭС «окна», дисперсией, данными межпланетного магнитного поля, кр-индексом и f10.7. На данный момент карты авроральных высыпаний, полученные на основе разработанной модели, с использованием машинного обучения Random Forest, дают хорошую согласованность с данными модели Ovation Prime, что можно наблюдать на рис. 3 и рис. 4.

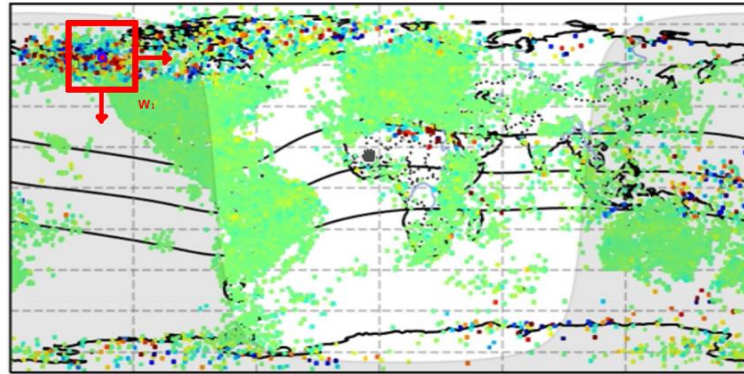


Рисунок 1. Карты вариации ПЭС с изображением работы метода «Скользящее окно», проходящее всю систему координат с радиусом 5x5 градусов географической широты/долготы.



Рисунок 2. Наглядное представление работы метода «Скользящее окно».

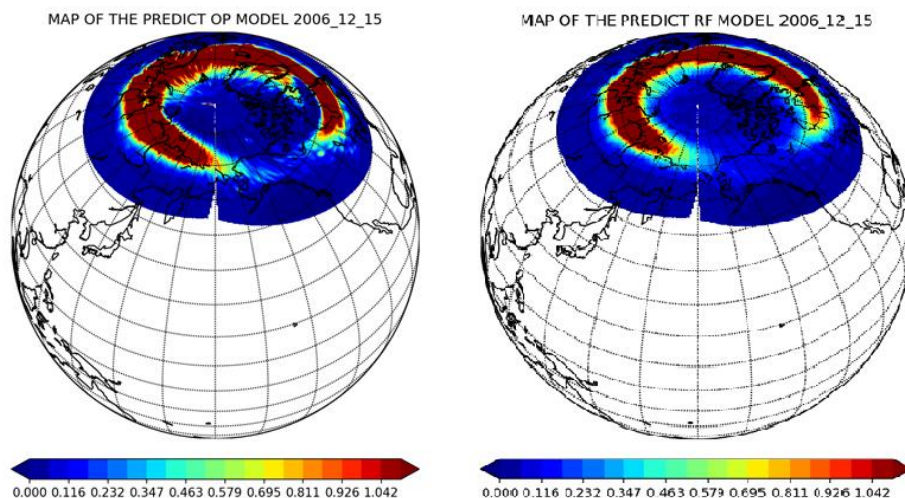


Рисунок 3. Слева представлен прогноз модели ovation Prime, эталонной модели для сравнения и справа прогноз мощности и границ авроральных высыпаний модели Random Forest для 15.12.2006.

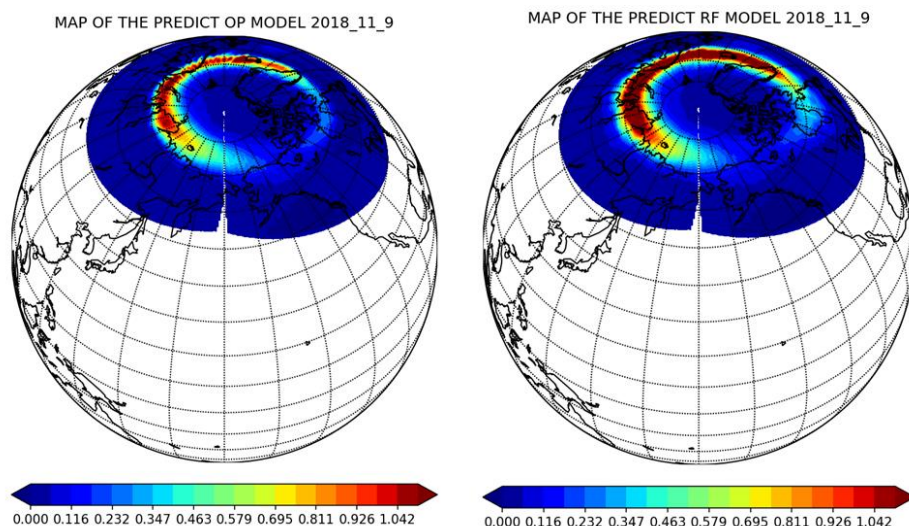


Рисунок 4. Слева представлен прогноз модели ovation Prime, эталонной модели для сравнения, и справа прогноз мощности и границ авроральных высыпаний модели Random Forest для 9.11.2018.

Можно отметить, что согласованность карт авроральных высыпаний, полученных моделью Random Forest растёт с увеличением количества дней обучения и увеличением глубины обучения. Минусом данного подхода является большее потребление вычислительной мощности и оперативной памяти компьютера, что в значительной степени увеличивает время обучения модели.

Границы авроральных высыпаний с помощью собственного алгоритма отчерчиваются красным цветом и накладываются сверху на график, во время рисования области авроральных высыпаний, прогнозируемой моделью Random Forest, как видно на рис.5. Границы ищутся довольно хорошо, в целом за счёт однотипности «аврорального овала» на всём тестовом наборе данных, без видимых искажений.

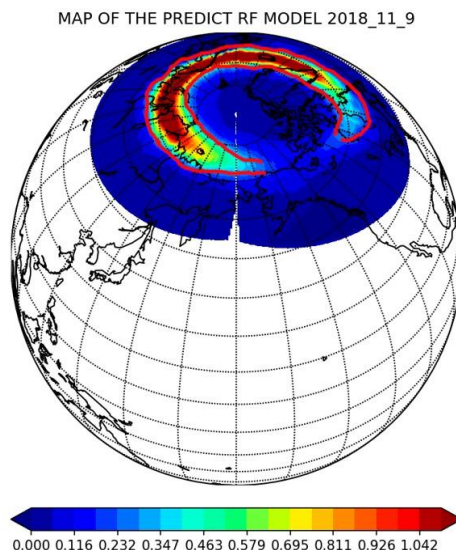


Рисунок 5. Границы аврорального овала для тестового набора данных для 9.11.2018.

Выводы. Несмотря на хорошую согласованность полученного прогноза с данными модели Ovation Prime, есть в этом также и минусы, так как модель Random Forest копирует модель изменения границ аврорального овала Ovation Prime, рисуя его «идеальным». Это связано с использованием лишь одной неэмпирической модели, как эталонной. Вследствие этого для улучшения и приближения оценки авроральной активности к

реальной назревает необходимость использования большего числа эталонных моделей для описания овала, в том числе использование экспериментальных данных спутника DMSP.

В целом можно сказать, что полученные результаты показывают работоспособность данного подхода **определения мощности и границы авроральных высыпаний по данным карт вариации ПЭС**, его перспективность и возможность доработки в дальнейшем для получения актуальной оценки авроральной активности в системах реального времени.

Список литературы

1. Afraimovich E.L., Astafyeva E.I., Demyanov V.V., Edemskiy I.K., Gavriilyuk N.S., Ishin A.B., Kosogorov E.A., Leonovich L.A., Lesyuta O.S., Palamartchouk K.S., Perevalova N.P., Polyakova A.S., Smolkov G.Y., Voeykov S.V., Yasyukevich Yu.V., Zhivetiev I.V. Review of GPS/GLONASS studies of the ionospheric response to natural and anthropogenic processes and phenomena // Journal of Space Weather and Space Climate. 2013. V. 3. A27. DOI: 10.1051/swsc/2013049
2. Черноус С.А., Шагимурагов И.И., Алпатов В.В., Филатов М.В., Будников П.А., Ефишов И.И., Федоренко Ю.В. Авроральный овал и овал неоднородностей полного электронного содержания в различных гелиогеофизических условиях // Труды Второй всероссийской конференции "Гелиогеофизические исследования в Арктике". 2018. с. 102-105. DOI: 10.25702/KSC.978-5-91137-381-8.102-105