

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.160-163

СРАВНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЭС И МОДЕЛЬНОГО АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА

С.А. Черноус¹, И.И. Шагимуратов², М.В. Филатов¹, И.И. Ефишов²

¹ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

²Калининградский филиал ИЗМИРАН, г. Калининград, Россия

Аннотация. Работа посвящена оценке практической возможности использования параметров и характеристик аврорального овала. Проводится сравнение местоположения модельных представлений границ аврорального овала по модели NORUSCA с овалом неоднородностей полного электронного содержания (ПЭС), построенного по данным ГНСС измерений, и определяющего прохождение трансionoсферных сигналов в полярной ионосфере. Делается вывод о хорошем совпадении тенденций смещения границ обеих овалов. Отмечается, что точные количественные зависимости модельных и измеряемых параметров требуют дальнейшего изучения с привлечением большого массива современных экспериментальных данных и их статистической обработки.

Введение

Настоящая работа связана с решением задачи прогноза появления мелкомасштабных неоднородностей в полярной ионосфере, возникающих одновременно с появлением дискретных форм полярных сияний [1-3]. Наличие пространственно-временного соответствия оптических полярных сияний и возмущений полярной ионосферы, влияющих на распространение сигналов навигационных спутников (ГНСС) может позволить такой прогноз осуществить. Действительно, если мы обеспечим надежный прогноз пространственно-временного распределения полярных сияний, то на основании количественных зависимостей распределения неоднородностей полного электронного содержания в ионосфере и распределения полярных сияний мы получим и прогноз появления неоднородностей, влияющих на распространение высокочастотных навигационных сигналов. Известно, что для регистрации локальных оптических полярных сияний может применяться сеть наземных камер полного обзора неба, имеющих ограниченное по сравнению с спутниковыми методами поле зрения, однако их достоинство заключается в высоком пространственном и временном разрешении конкретных авроральных событий, по которым можно установить физические механизмы развития неоднородностей ПЭС. Так как нам требуются не только и не столько наблюдения в реальном времени, а прогноз, то мы призываем обратить внимание на существующие модели аврорального овала, которые на настоящем этапе развития полярной геофизики позволяют состояние оптического овала прогнозировать. Зная соответствие между овалом полярных сияний и овалом неоднородностей ПЭС, мы сможем прогнозировать и условия распространения трансionoсферных сигналов.

Овал полярных сияний

Выдающееся открытие местоположения полярных над поверхностью Земли в любой момент времени. было сделано по данным сети непрерывно работающих оптических камер С-180 с обзором 180° в период Международного геофизического года (1957 – 1958) советскими учеными Оно позволило связать различные физические явления в земных оболочках – магнитосфере и ионосфере с наблюдаемыми на земной поверхности явлениями. Советские ученые О. Хорощева, Я. Фельдштейн и Г. Старков доказали асимметрию этого кольца, положение которого определялось не географическим, а магнитным полюсом, установили его непрерывность, и нашли возможность его математического представления [4-6].

Оказалось, что овал «дышит», он смещается к экватору при большой солнечной активности, а ширина его значительно увеличивается. Удачным оказалось и само слово «овал», ясно выражающее реальную геометрию мгновенного положения кольца сияний. Это одно из самых значимых открытий в физике ближнего космоса, оно вошло в историю геофизики, как авроральный овал Фельдштейна. И когда ученым из первых измерений геомагнитного поля на спутниках стало известно, что магнитосфера Земли тоже несимметрична, стало понятно, что, определяя границы, ширину, асимметрию и другие параметры овала, можно узнать о явлениях, происходящих в ближнем космосе, то есть проводить диагностику околоземного космического пространства. Множество работ в области геокосмических исследований стали обязательно включать в себя (и до сих пор включают) сравнение новых данных с характеристиками овала, и овал является практически естественной системой координат в космической геофизике. В настоящее время появились сомнения в современности

парадигмы аврорального овала, высказанные на основании ошибочного мнения утверждающего, что понятие аврорального овала объединяет все типы активных полярных сияний [7]. Действительно, с точки зрения исследователя магнитосферных механизмов формирования различных форм сияний, использование концепции овала ограничено. Однако, это гораздо в меньшей степени касается процессов в ионосфере. На самом деле, модель овала и его математическое описание были построены исключительно для дискретных форм сияний [8] что делает его полезным для диагностики влияния полярной ионосферы на распространение навигационных сигналов GPS и ГЛОНАСС в Арктике. Именно с дискретными формами сияний в период авроральной суббури связаны вариации и неоднородности полного электронного содержания (ПЭС), определяющие распространение трансionoсферных сигналов навигационных спутников [9-10]. Таким образом, кроме традиционного значения овала, используемого много лет, он получает новую жизнь в радиофизических полярных исследованиях.

Модель краткосрочного прогноза NORUSCA

В 1997 году в лаборатории Военно-Воздушных сил США был построен виртуальный пятнадцатиминутный Kp индекс WING, который определялся на основании полученных зависимостей Kp от параметров солнечного ветра [11]. Реализована эта зависимость с помощью измерений на спутнике ACE, находящемся в точке либрации между Землей и Солнцем на расстоянии около одного миллиона километров от Земли. То есть, можно прогнозировать полярные сияния в зависимости от виртуального Kp, определяемого по параметрам солнечного ветра. Таким образом, двумя ключевыми позициями прогноза являются 1) зависимость положения овала сияний от Kp и ее описание в работе Г.В. Старкова [12, 13]; 2) зависимость виртуального Kp от параметров солнечного ветра (индекс WING).

Зная индекс WING (виртуальный Kp) можно построить овал сияний заблаговременно от 1 до 2 часов в зависимости от скорости движения заряженных частиц от Солнца. Модель прогноза NORUSCA была реализована в рамках Норвежско-Российского проекта [14] на базе данных ПГИ с участием ученых Геофизического института на Аляске и размещена в Интернете на сайте Университета на Свальбарде (Шпицберген) <http://kho.unis.no>

Положения неоднородностей ТЕС и полярных сияний аврорального овала в условиях различной гелиогеофизической активности

При помощи программного обеспечения, разработанного для прогноза обнаружения сияний аврорального овала были построены профили овалов полярных сияний и совмещены с профилями неоднородностей для 4-х станций (AB18 66.71N 162.61W, TIXI 71.38N 128.52E, KIR0 67.51N 21.03E, NNVN 61.47N 44.90W) (рис. 1).

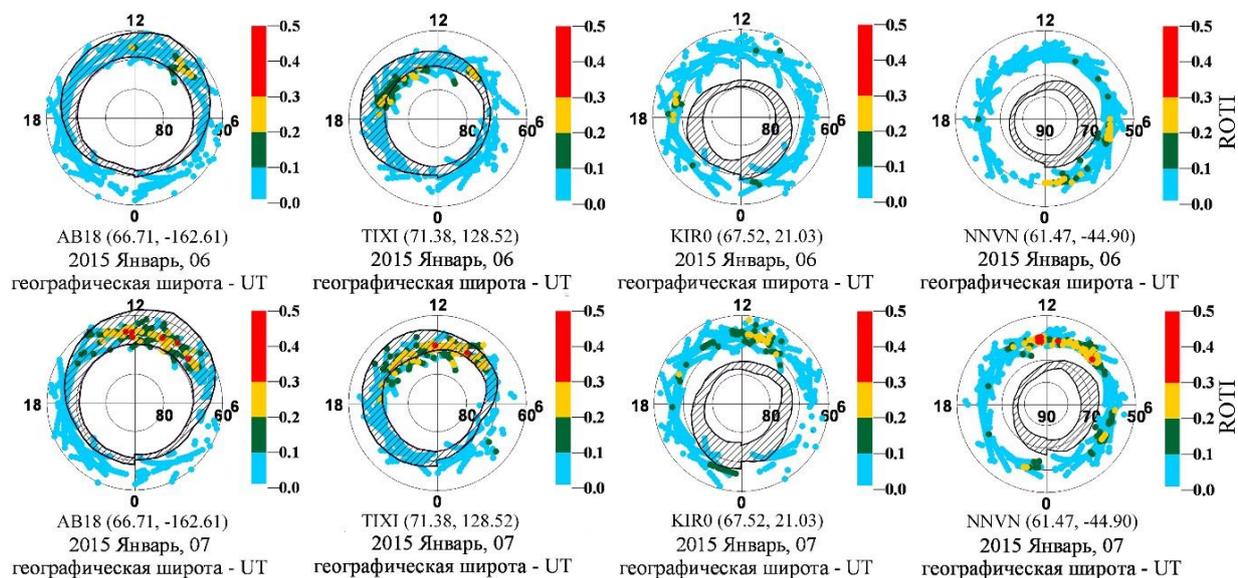


Рисунок 1. Пространственные распределения сияний и неоднородностей ПЭС (ROTI) для спокойного уровня 06.01.2015 и возмущенного 07.01.2015. Интенсивность ROTI обозначена отрезками разного цвета согласно шкале справа от изображения овалов.

На рис. 1 представлены пространственные распределения сияний и неоднородностей ПЭС для спокойного уровня 06.01.2015 и возмущенного 07.01.2015. Очевидно, что при различной возмущенности картины распределений могут значительно отличаться.

Сразу отметим важную особенность при сравнении пространственных распределений сияний и неоднородностей ПЭС в период магнитной бури 07.01.2015. И те, и другие распределения имеют овальную форму с максимальной шириной и интенсивностью в полуночные часы местного времени. Причем, именно на тех станциях, которые расположены вблизи полуночи, наблюдается хорошее подобие фигур этих распределений. Это говорит о том, что основными формами сияний, претендующими на роль индикатора областей ионосферы, нарушающих нормальное распространение радиоволн, являются дискретные дуги и полосы сияний, обычно располагающиеся в ночном секторе. Как видно из рис. 1 на станциях AB18 и TIXI наблюдается совпадение овалов сияний и неоднородностей. Это соответствует ночному времени суток. Однако на станциях KIR0 и NNVN овалы не совпадают. Это может быть связано как с географическим положением станций, так и с распределением сияний по высоте. Действительно, лучи дуг полярных сияний могут начинаться на высоте около 110 км и заканчиваться на высотах 300-500 км, а их направление соответствует направлению силовых линий магнитного поля Земли. Трасса навигационный спутник – навигационный приемник может пересекать лучистую дугу полярного сияния на любой высоте. Поэтому совпадение авроральных овалов и овалов неоднородностей ТЕС отнюдь не является необходимым, важно, что и то, и другое распределение имеет овальную структуру. Взаимное положение овалов полярных сияний и неоднородностей в ионосфере и позволит нам оценивать и прогнозировать появление этих неоднородностей по данным о полярных сияниях, хотя для этого придется решать трехмерную задачу. С авроральными возмущениями в проведенных измерениях неоднократно ассоциировались интенсивные фазовые флуктуации на разнесенных станциях в авроральных и субавроральных широтах [12-16]. В качестве следующего примера представлены данные по пространственно-временному распределению фазовых флуктуаций GPS сигналов, обусловленных ионосферными неоднородностями во время геомагнитной бури 2 октября 2013г. с представлением одновременных овалов полярных сияний согласно [8, 7-11]:

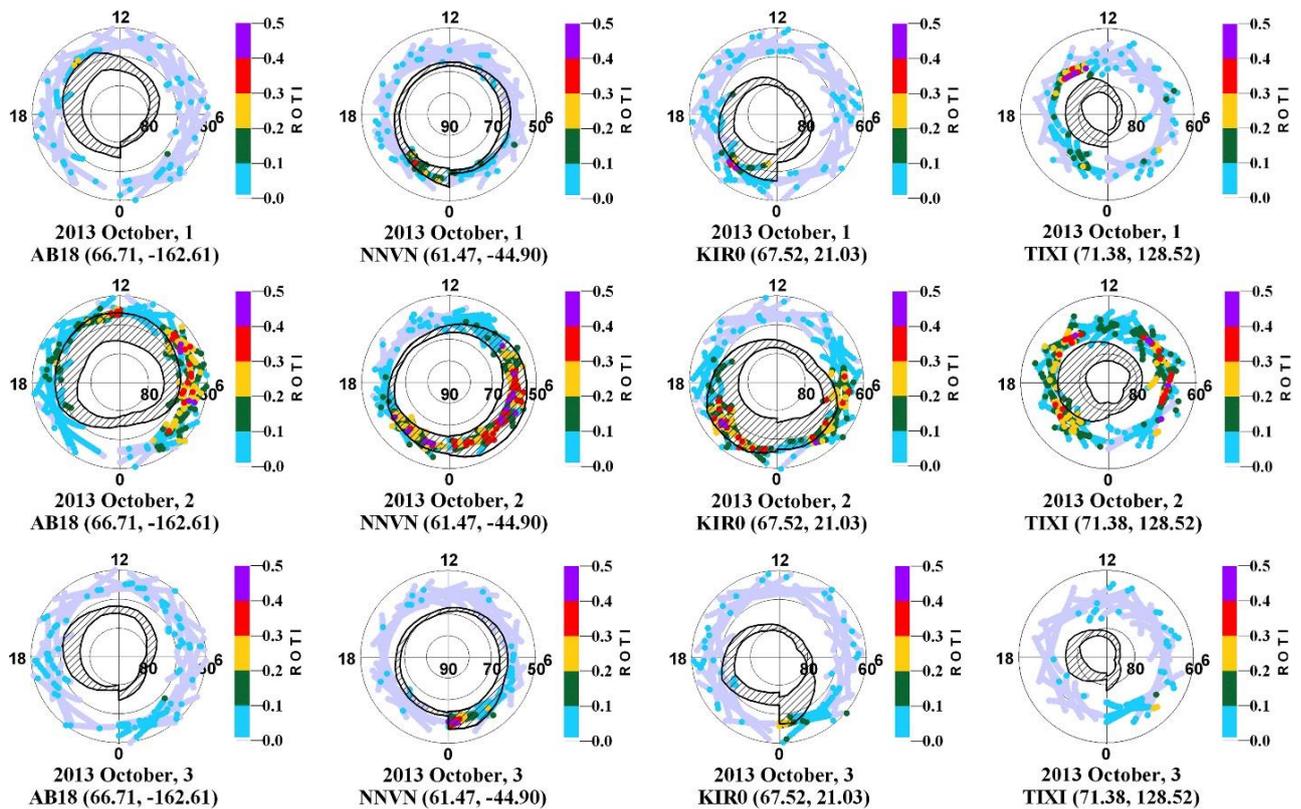


Рисунок 2. Пространственные распределения интенсивности сияний и неоднородностей ПЭС для спокойного уровня 01.10.2013, 3.10.2013 и возмущенного 2.10.2013. Интенсивность ROTI обозначена отрезками разного цвета согласно шкале справа от изображения овалов.

В этом случае, как и в предыдущем, также обнаруживается овальная структура пространственно-временного распределения, как полярных сияний, так и неоднородностей в ионосфере. Очевидно, что в возмущенный день 2 октября 2013 г. овалы сближены между собой в то время, как в спокойные дни 1 и 3 октября они значительно расходятся.

Заключение

Сравнение пространственно-временного распределения неоднородностей ПЭС и модельного аврорального овала продемонстрировало возможность прогноза нарушений распространения ГНСС сигналов высокоорбитальных спутников в Арктике во время развития дискретных форм полярных сияний.

Литература

1. Черноус С.А., Швец М.В., Филатов М.В., Шагимурагов И.И., Калитёнков А.Н. Исследования особенностей навигационных сигналов в период авроральных возмущений // Химическая физика том34, №10, с. 33-39 2015.
2. Филатов М.В., Швец М.В., Черноус С.А. Особенности приема навигационных сигналов на Шпицбергене в условиях развития полярных сияний // Труды Кольского научного центра. Гелиогеофизика, 2016, №2, С.84-90.
3. Aarons J., *GPS system phase fluctuations at auroral latitudes* // Journal of Geophysical Research, 102, A8, 1997, pp. 17219-17231
4. Хорошева О.В. Пространственно-временное распределение полярных сияний // М.: Наука, 1967. 82 с.
5. Исаев С.И. Морфология полярных сияний // Л.: Наука, 1968. 167
6. Feldstein Ya.I., Starkov G.V. Dynamics of auroral belt and polar geomagnetic disturbances. // *Planet. Space Sci.* 1967 vol. 15, no. 2, pp. 209–230.
7. Лазутин Л.Л. Овал полярных сияний — Прекрасная, но устаревшая парадигма// солнечно-земная физика, 2015. т. 1, № 1, с.23 -35.
8. Филатов М.В., Швец М.В., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Черноус С.А. Полярные сияния как индикатор устойчивости сигнала GPS-приемника // Труды Кольского научного центра. Гелиогеофизика, 2015, №1, С.93-100.
9. Chernouss S.A., Shagimuratov I.I., Ievenko I.B., Filatov M.V., Efishov I.I., Shvets M.V., Kalitenkov N.V. Aurora as Indicator of the Ionospheric Impact on TransIonospheric Navigation Signals. // Proceedings of V Intern. Conf. “Atmosphere, Ionosphere, Safety” (AIS-2016), Kaliningrad, Russia, 2016, pp. 185—191
10. Черноус С.А., Шагимурагов И.И., Калитенков Н.В. Оценка состояния приема навигационных сигналов GPS/ГЛОНАСС в Арктике с помощью регистрации полярных сияний. // Всероссийская научно-практическая конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика - регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в арктическом регионе». 29.09.2016
11. Costello, K. A., *Moving the Rice MSFM into a RealTime Forecast Mode Using Solar Wind Driven Forecast Models*, Ph.D. dissertation, Rice University, Houston, TX, June 1997.
12. Starkov, G. V., *Mathematical model of the auroral boundaries* // *Geomagnetism and Aeronomy*, 34, 3, 331336, 1994.
13. Starkov, G.V., *Statistical dependences between the magnetic activity indices* // *Geomagnetism and Aeronomy*, 34, 1, 101-103, 1994.
14. Sigernes F., M. Dyrland, P. Brekke, E. K. Gjengedal, S. Chernouss, D.A. Lorentzen, K. Oksavik and C. S. Deehr *real time aurora oval forecasting – SvalTrack I*
15. Shagimuratov I.I., S.A. Chernouss, I.I. Efishov, M.V. Filatov, N.Y. Tepenitsyna, G.A. Yakimova, E.M. Koltunenko, M.V. Shvec. Occurrence of GPS signals phase fluctuations during auroral activity // “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XXXVIII Annual Seminar, Apatity, PGI Kola Science Centre, Russian Academy of Science, 2015, pp. 107-110.
16. Черноус С.А., Шагимурагов И.И., Ефишов И.И., Тепеницина Н.Ю., Черняк Ю.В. Флуктуации фазы GPS сигналов во время геомагнитной бури 1 октября 2013 года. Труды XX Региональной конференции по распространению радиоволн. СПб ГУ 18 - 20 ноября 2014 г. с. 84-87.